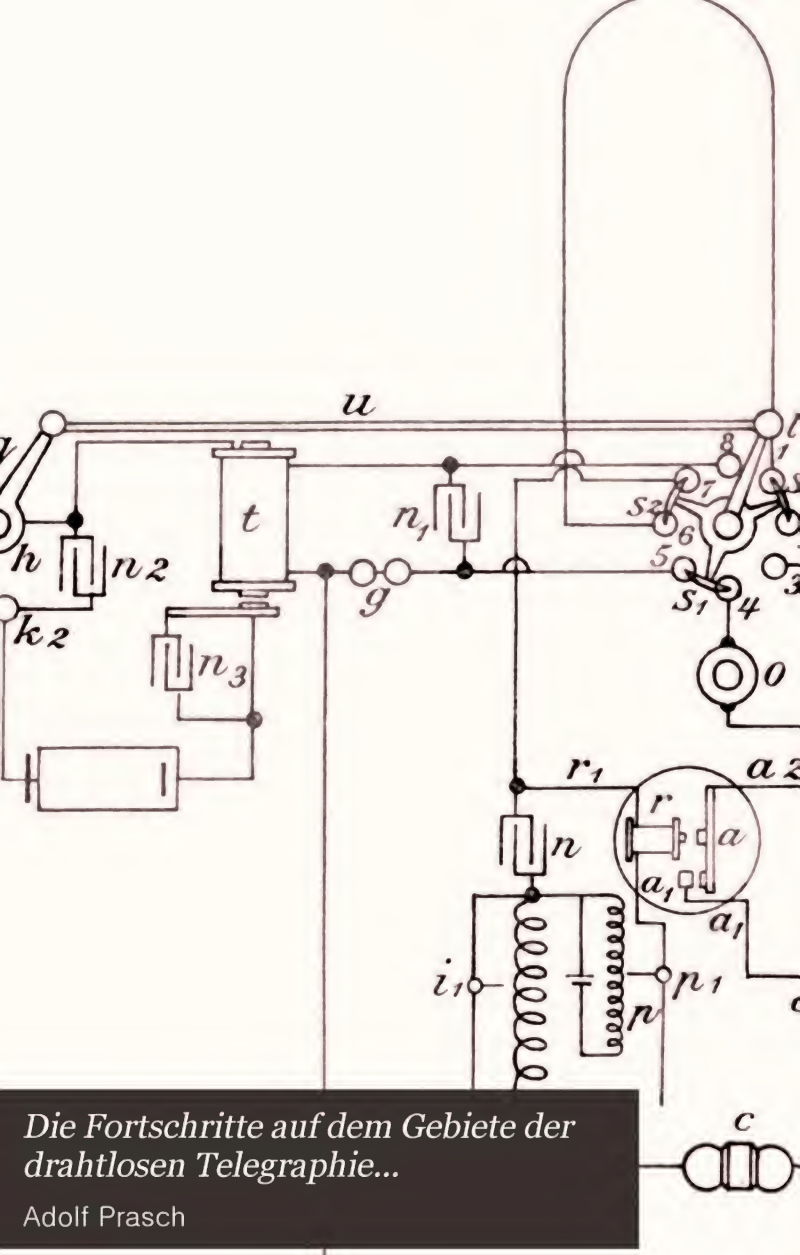


Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie...

Adolf Prasch

Digitized by Google

Sci 1465.90

Harvard College Library

FROM THE

TREADWELL FUND

Residuary legacy from DANIEL TREADWELL, Rumford Professor and Lecturer on the Application of Science to the Useful Arts, 1834-1845

SCIENCE CENTER LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

DIE FORTSCHRITTE

AUF DEM GEBIETE DER

DRAHTLOSEN TELEGRAPHIE.

III.

VON

Ingenieur ADOLF PRASCH,
k. k. Regierungsrat und Eisenbahnoberinspektor a. D.

MIT 227 ABBILDUNGEN.

Sonderausgabe
aus
Sammlung elektrotechnischer Vorträge.
Herausgegeben von Prof. Dr. ERNST VOIT.
Band VIII.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1905.

Digitized by Google

Sci 1485.90

Treasurer's Fund

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Einleitung 1
B. Theorien und physikalisch-theoretische Untersuchungen 9
C. Physikalische Untersuchungen über verschiedene Erscheinungen der drahtlosen Telegraphie 50
D. Abstimmungs- und Resonanzversuche 74
E. Wellenmesser und Wellenmessungen 147
F. Wellenanzeiger 162
G. Neuerungen und Verbesserungen an den Einrichtungen für drahtlose Telegraphie 188
H. Vergleichende Zusammenstellung der verschiedenen Anordnungen für drahtlose Telegraphie 238
I. Drahtlose Telephonie und sonstige Verwertungen der Wellenentsendung 255
K. Versuche und Versuchsergebnisse 264
L. Schlußbemerkung 272

Digitized by Google

A. Einleitung.

Auf dem Gebiete der drahtlosen oder besser gesagt der elektromagnetischen Wellentelegraphie zeigt sich erfreulicherweise ein so rüstiges Forschen und Schaffen, und mehren sich die Neuerungen und Verbesserungen in einer Weise, daß der Chronist Mühe hat, alle einzelnen Etappen zu verfolgen, zu sichten und aufzuzeichnen. Der Schwerpunkt der Forschungen ist nunmehr aus dem praktischen Felde in das physikalische Laboratorium verlegt, in welchem in langer mühseliger Versuchsarbeit alle noch dunklen Punkte allmählich, aber sicher klar gelegt werden und weisen die gewonnenen Ergebnisse erst für den praktischen Betrieb die Punkte, an welche die Hebel anzusetzen sind, um die notwendig erscheinenden Verbesserungen durchzuführen. Aus dem Laboratorium stammen denn auch die wichtigsten Errungenschaften, welche seit dem Erscheinen des letzten Heftes „der Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie" zu verzeichnen sind. In erster Linie sind es die Ergebnisse der Untersuchung des um die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie bereits so hoch verdienten Professors Dr. Ferdinand Braun in Straßburg, über die Erhöhung der Senderenergie, welche, in die Praxis umgesetzt, das System Telefunken der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie auf jenen Höhepunkt brachten, die diesem im internationalen Wettbewerb einen ersten, wenn nicht den ersten Platz sicherten. Diese Forschungen erst ermöglichten es, mit einem gegebenen Energieaufwande die höchste Reichweite zu erzielen und für die Aufrechterhaltung des Betriebes, selbst unter

Digitized by Google

den ungünstigsten Witterungsverhältnissen auf die gewährleistete Entfernung die Haftung zu übernehmen.

Die Braunsche Energieschaltung in Verbindung mit der Braun-Reudahlschen unterteilten Funkenstrecke ermöglichten es erst, dem Sendegebilde unter Herabminderung der inneren Dämpfungsverluste die größtmöglichste Menge an nutzbar zu machender Strahlungs- oder Schwingungsenergie zuzuführen. Dadurch war nun auch die Möglichkeit gegeben, auf den alten einfachen Marconisender zurückzugreifen und ihn für alle jene Zwecke der Nachrichtenvermittlung zu verwenden, in welchen es sich nicht um genaue Abstimmung und um Erzielung außergewöhnlicher Reichweiten handelt. Allerdings wurde das Erreichte durch die Anwendung von Resonanzinduktorien, die eine weitere Herabminderung der Energieverluste ermöglichten, wesentlich gefördert. Leider läßt sich nicht mit Genauigkeit feststellen, von wem die erste Anregung zur Konstruktion und Verwertung dieser Resonanzinduktorien, über welche eingehendere Mitteilungen in den nachfolgenden Erläuterungen enthalten sind, ausging, da eine Reihe verdienter Persönlichkeiten die Priorität für sich in Anspruch nimmt. Wahrscheinlich sind, wie es auf wissenschaftlichem und technischem Gebiete vielfach beobachtet wird, die verschiedenen Erfinder gleichzeitig und original ohne gegenseitige Anlehnung auf die gleiche Idee gekommen.

Dem weiteren Ziele der Bestrebungen zur Verbesserung der Nachrichtenvermittlung auf diesem Wege, nämlich der Erreichung einer vollkommenen wechselseitigen Abstimmung zum Zwecke der Geheimhaltung der zu übertragenden Mitteilung und zur Sicherung gegen von außen kommende absichtliche oder unabsichtliche Störungen ist man zwar bedeutend näher gerückt, hat es aber noch nicht vollkommen erreicht. Vielleicht bieten die bedeutsamen und eingehenden Untersuchungsarbeiten von Professor A. Slaby über die Abstimmung der funkentelegraphischen Sender, wenn sie zum Abschluß gelangen, die Handhaben, dieses Ziel, soweit es auf diesem Wege möglich ist, zu erreichen. Dieser Arbeit wurde hier, wiewohl sie noch nicht zum Abschluß gebracht ist, wegen der Gründlichkeit der Untersuchung und der Wichtigkeit der hierdurch geförderten Tatsachen, die schon dermalen zahlreiche Anhaltspunkte für die Durchführung von Verbesserungen liefern, unter möglichster Anlehnung an die Originalmitteilungen in eingehendster Weise gedacht. Von Interesse ist es, daß Slaby auf Grund seiner durch sinnreiche Versuchsanordnung geförderten Beobachtungen zu dem Ergebnis gelangt, daß den magnetischen Kraft-

Digitized by Google

linien für die Fernwirkung der Hauptanteil zufällt, wogegen die elektrischen Vorgänge hierfür erst in zweiter Linie in Betracht kommen. Dementsprechend müßte sich, wie dies auch Taylor im Gegensatze zu Blondel und Fessenden annimmt, die Wirkung im einfachen und nicht im quadratischen Verhältnisse zur Entfernung abschwächen. Es ist hier ausdrücklich hervorzuheben, daß sich dieser zwar nur bedingt gezogene Schluß auf die Ergebnisse von tatsächlich, allerdings nur im Laboratorium durchgeführten Experimenten stützt. Dementgegen weisen die von Tissot zwischen beweglicher und unbeweglicher Station durchgeführten praktischen Untersuchungen an im Betriebe befindlichen Stationen im Einklange mit bereits früheren Versuchen von Fessenden darauf hin, daß den elektrischen Kraftlinien für die Fernwirkung, ein größerer Anteil zukommt, als dies Slaby annimmt, indem die mit ausnehmend empfindlichen Instrumenten durchgeführten Messungen der vom Empfänger aufgenommenen Energiemenge eine im Verhältnisse zum Quadrate der Entfernungen abnehmende Wirkung erweisen.

Da beide Untersuchungen sich auf den Versuch und die Messung stützen, ist zu ersehen, daß irgendwelche Bedingung für ein einwandfreies Ergebnis unbeachtet geblieben sein muß, und sohin diese Frage noch nicht als spruchreif gelöst anzusehen ist.

Aus den Untersuchungen von Slaby geht weiter hervor, daß die Längenmessung der in einem geerdeten Drahte erregten elektrischen Wellen, wozu man sich am besten des Multiplikationsstabes bedient, Aufschluß über die Güte der Erdung gibt. Die Wichtigkeit einer guten Erdung für alle elektrischen Telegraphen- und Signalisierungsleitungen, sowie auch für viele sonstige Zwecke der Anwendung elektrischer Kräfte, ist allseitig anerkannt. In der Praxis fehlt es jedoch bisher an einer einfachen und zuverlässigen Methode, den Uebergangswiderstand rasch und sicher bestimmen zu können. Möglicherweise gibt die gewonnene Erkenntnis einen Anhaltspunkt für die Ausgestaltung einer solchen Methode, welche seitens aller Telegraphentechniker umsomehr mit Freuden begrüßt werden würde, als die lästigen Störungen durch Erdströme hier entfallen müssen.

Im Einklang mit dem Bestreben die Schärfe der Abstimmung zu erhöhen, steht auch das Bestreben Instrumente zu schaffen, um die Länge der erregten Wellen nicht nur rasch, sondern auch genau bestimmen zu können. Auch auf diesem Felde sind Neuerungen, wenn auch in geringer Zahl, zu verzeichnen. Wesentliche Unterschiede weisen diese Instrumente gegenüber den bereits vorgeführten nur in

Digitized by Google

Bezug auf die Ausgestaltung auf, da es sich hier in allen Fällen meist darum handelt, einen bestimmten Schwingungskreis durch eine der beiden Größen, Kapazität oder Selbstinduktion oder auch beider, mit dem zu messenden Kreise in Resonanz zu bringen.

Hand in Hand mit den Bemühungen, die Senderenergie und die Schärfe der Abstimmung zu erhöhen, gehen auch die Versuche, die Wellenanzeiger zu empfindlicheren und zuverlässigeren Empfangsapparaten auszugestalten, als dies der in seinem Verhalten launische, aber aus anderen Gründen fast ausschließlich verwendete Körnerfritter ist. Die elektromagnetischen und elektrolytischen Wellenanzeiger erweisen sich viel empfindlicher und zuverlässiger als die Körnerfritter und gestatten auch ein viel schnelleres Arbeiten als dieser, allein sie haben den anscheinenden Nachteil, daß sie bisher keine schriftliche Niederlegung der einlangenden Zeichen ermöglichen und die Aufnahme daher nur mittels Telephon erfolgen kann. Es sei hier jedoch von neuem hervorgehoben, daß Irrungen und Fälschungen bei der schriftlichen Aufzeichnung durch einen Apparat ebensowenig ausgeschlossen sind, als bei der reinen Gehörsaufnahme. Irrungen sind im Gegenteile beim Gehörleser viel seltener, da die Aufnahme durch das Gehör einen sehr geübten Telegraphisten erfordert, welchem sich das Wortbild sofort fest einprägt, wodurch Täuschungen, sofern es sich nicht um Fremdworte handelt, fast ausgeschlossen sind. In England und Amerika, wo auf die Ausbildung der individuellen Leistungsfähigkeit der größte Wert gelegt wird, erfolgt die Aufnahme fast ausschließlich durch das Gehör. Niemand wird jedoch behaupten können, daß der Telegraphistendienst, welchem doch eine so wichtige Rolle im Verkehrsleben zufällt, dort schlechter gehandhabt wird als anderwärts. An ausreichendem Materiale zur Ausbildung als Gehörleser fehlt es ebensowenig, wie an der nötigen Intelligenz. Also einmal weg mit der doch immer unzuverlässigen Kontrolle durch die schriftliche Niederlegung der Zeichen und zur Gehörsaufnahme übergegangen, durch die der Dienst in keiner Weise leiden, sondern wegen der vergrößerten Leistungsfähigkeit nur gewinnen wird.

Einen Beleg für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Person durch die Gehöraufnahme bietet sicher die Tatsache, daß bei Verwendung eines Schreibapparates höchstens 10—15 Worte in der Minute aufgenommen werden können, während der Gehörleser im Durchschnitte 25 und als Maximalleistung 35—40 Worte in der gleichen Zeit aufzunehmen vermag.

Da nun das alte Vorurteil noch nicht beseitigt ist und auch nicht

Digitized by Google

so bald aufgegeben werden dürfte, wendet sich das Hauptaugenmerk zur Verbesserung des Empfanges Wellenanzeigern zu, welchen die Mängel des erwähnten Fritters nicht anhaften. Vielfach sucht man der Lösung der Aufgabe durch Verbesserung der Fritterkonstruktion näher zu kommen und zeigen die zahlreichen Neuerungen, daß dem Ziele eifrig zugestrebt wird. Inwieweit jedoch der Zweck mit diesen neuen Formen der Fritter erreicht wurde, entzieht sich der Beurteilung, da eingehende vergleichende Untersuchungen, die allein Aufschluß zu geben vermögen, nicht vorliegen und auch noch nicht vorliegen können.

Den elektrolytischen Wellenanzeigern, welche bereits vollkommen ausgebildet sind und als die einfachsten und betriebssichersten Anzeigeinstrumente bezeichnet werden, wäre ein großes Anwendungsgebiet gesichert, wenn nicht ihre Eigenart auf die Gehörsaufnahme verweisen würde. Eine selbsttätige schriftliche Niederlegung der einlangenden Zeichen erscheint wenigstens dermalen bei Verwendung dieser Wellenanzeiger ausgeschlossen. Hingegen ist es gelungen, die magnetischen Wellenanzeiger in einer Weise auszubilden, welche sie befähigen, ein sichtbares Zeichen entweder unmittelbar durch einfache Ausschlagbewegung oder mittelbar durch indirekte Aufzeichnung hervorzurufen. Auch in anderer Weise, und zwar in Form von statischen Elektrometern oder Brückenwagen, wurde der Lösung dieser Frage näher gerückt. Praktische Anwendung als Wellenanzeiger scheinen diese Instrumente, mit einer einzigen Ausnahme, noch nicht zu finden, dagegen erweisen sich alle, sofern sie nur durch Nadelausschlag wirken, geeignet als Instrumente für die Messung der Intensität der einlangenden Wellen zu dienen. Diese elektromechanischen Wellenanzeiger, wie sie in der Folge bezeichnet werden sollen, besitzen bei geeigneter Adjustierung eine große Empfindlichkeit, die jene eines guten Fritters bedeutend übertreffen soll. Von Interesse ist es, daß vor nicht allzulanger Zeit der als Erfinder eines eigenartigen Systems der Wellentelegraphie bestens bekannte und daher mit den Verhältnissen vollkommen vertraute Professor Reginald A. Fessenden in einem Vortrage verlautbarte, es dürfte wegen der zu geringen vom Empfänger aufgenommenen Energie kaum möglich sein, einen Empfänger zu konstruieren, der auf die einlangenden elektrischen Impulse durch einen Ausschlag, d. h. durch eine Bewegung reagiere.

Es liegen auch vielfache Bestrebungen vor, die Wellen in eine bestimmte Richtung zu lenken und dadurch nicht nur die Wirkungen zu erhöhen, sondern auch die Störungsfreiheit und Geheimhaltung der Nachrichten besser zu sichern, als dies bisher möglich war. Die er-

Digitized by Google

zielten Erfolge scheinen jedoch bislang mit dem Aufwande an Mühe nicht im Einklange zu stehen.

Die Möglichkeit der Sprachvermittlung auf größere Entfernungen unter Benutzung elektromagnetischer Wellen ist nicht ausgeschlossen und zeigt eine große Reihe von Versuchen, daß auch dieses Ziel erreicht werden wird. Tatsächlich ist es denn auch gelungen, unter Benutzung des singenden Flammenbogens Töne und auch die Sprache, letztere bisher allerdings nur in sehr undeutlicher Weise, auf beschränkte Entfernungen zu übertragen. Auf diesem Wege dürfte jedoch allem Anscheine nach die Ueberwindung größerer Entfernungen ausgeschlossen sein, da zur Hervorrufung der erforderlichen Stromschwankungen nur ein Mikrophon verwendet werden kann. Dieses Instrument läßt sich jedoch nur für geringe Stromstärken bauen (bisher wurden nicht mehr als 5 Amp. erreicht) und sind daher die im Verhältnisse zur erforderlichen Energiemenge erreichbaren Schwankungen zu gering, um sie mit Rücksicht auf die bedeutende Abschwächung an der Empfangsstelle mit genügend kräftiger Wirkung zum Ausdruck zu bringen. Eine andere Methode, diese Intensitätsschwankungen durch entsprechende Aenderung der Funkenlängen zu erzeugen, scheint mehr die Bürgschaft des Erfolges in sich zu tragen und soll es auf diesem Wege bereits gelungen sein, eine deutliche Sprachübertragung, vorläufig allerdings nur auf eine sehr beschränkte Entfernung, zu erhalten.

Die Schwierigkeit, ein vollkommen gleichmäßiges Ueberspringen der Funken in der Funkenstrecke ohne Aussetzen auf die Dauer aufrecht zu erhalten, soll nach den vorliegenden Mitteilungen bereits überwunden sein. Ununterbrochene Wellenzüge lassen sich aber auf diese Weise nicht entsenden, da die Zwischenpausen zwischen dem Verklingen der durch einen Funken erregten Wellen und dem Einsetzen eines neuen Funkens, selbst bei der großen Anzahl von 10000 Funken in der Sekunde, wie sich dies rechnerisch leicht nachweisen läßt, immer noch sehr bedeutende sein müssen. Die Entsendung ununterbrochener Wellenzüge dürfte jedoch für eine gute Sprachvermittlung Bedingung sein, wiewohl es nicht ausgeschlossen ist, daß das Gehörsorgan für diese Feinheiten nicht so empfindlich ist und die abgehackten Erregungen, wegen der außerordentlichen Kleinheit der Pausen, ähnlich wie das Auge, durch die Nachwirkungen voll aufnimmt, somit den Ton mit gleicher Deutlichkeit vernimmt, als wenn er voll übermittelt würde.

Es erübrigt nur noch auf eine Beobachtung hinzuweisen, welche

Digitized by Google

für die Weiterentwicklung bezw. die größere Verbreitung der drahtlosen Nachrichtenvermittlung von Bedeutung sein dürfte. Major O. Squier hat nämlich nachgewiesen, daß lebende Bäume, sofern es sich nicht um zu große Entfernungen handelt, ebensogut als Wellenfänger und Wellensender verwendet werden können, wie die künstlichen Drahtgebilde, welche dermalen ausschließlich zur Benützung gelangen. Diese Beobachtung wurde auch von anderer Seite bestätigt und gleichzeitig die einfache Art und Weise, in welcher ein solcher Baum zum Wellenfänger umgestaltet werden kann, bekannt gegeben. Berücksichtigt man nun die Schwierigkeit, mit welcher die Errichtung dieser hohen Drahtgebilde verbunden ist, um sie hinreichend widerstandsfähig zu machen, zieht man ferner die hohen Kosten dieser Einrichtungen in Betracht und vergleicht sie mit der Einfachheit der Adaptierung eines Baumes für die gleichen Zwecke, so zeigen sich die hieraus sich ergebenden Vorteile von selbst. Der Hauptteil der Auslagen für die Errichtung einer drahtlosen Verbindung entfiel bisher fast nur auf die Luftdrähte, die nebstbei mit ihrem Stützmast und den vielen Verspannungsdrähten einen nichts weniger denn hübschen Anblick gewähren. Diese Auslagen ließen sich nun überall dort, wo keine allzugroßen Reichweiten verlangt werden, durch die Verwendung von Bäumen für die gedachten Zwecke wesentlich verringern und dürften vielfach, sofern nur nicht gesetzliche Bestimmungen hemmend einwirken, zur Errichtung drahtloser Verbindungseinrichtungen für private Zwecke die Anregung geben.

Der Zweck der vorliegenden Mitteilungen wurde schon in der Einleitung zu „die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie II“ gegeben und muß, um Wiederholungen zu vermeiden, auf diese verwiesen werden. Entsprechend dem Umstande, daß die Fortschritte auf diesem Gebiete zumeist den Forschungen der Physiker zu danken sind und von den verschiedensten Seiten zur Klarlegung noch ungelöster Fragen beigetragen wird, wurde insbesondere den physikalischen Untersuchungen eine breitere Behandlung gewidmet wie bisher, um auch in dieser Richtung den Leser über den jeweiligen Stand der fortschreitenden Klarlegung der einschlägigen Gesetze ein Bild gewinnen zu lassen.

So kommt es, daß das „Durchschlaggesetz“ in seiner Entwicklung eingehender verfolgt und manches andere mit der Wellentelegraphie nicht unmittelbar in Zusammenhang Stehende, wie beispielsweise die „Demonstration elektrischer Drahtwellen“ Aufnahme gefunden hat.

Auch hier wurde der Stoff durch Unterteilung zu sichten und

Digitized by Google

zu ordnen gestrebt, allein es ergaben sich hierbei gewisse Schwierigkeiten, weil, will man mit der Unterteilung nicht zu weit gehen, die Einreihung mancher Materie ebensogut in die eine, als auch in die andere Gruppe erfolgen konnte. Das Bestreben, möglichst folgerichtig vorzugehen, war zwar vorhanden, doch sind Irrungen nicht ausgeschlossen und mögen diese, falls vorfindlich, der erwähnten Schwierigkeit zugeschrieben werden.

Daß die neue Theorie von Hettinger an die Spitze gestellt wurde, liegt nicht darin, daß ihr ein großer Wert beigemessen wird, sondern ergab sich aus der gewählten Einteilung von selbst. Wäre für die Einteilung die besondere Bedeutung des Stoffes allein maßgebend gewesen, so hätten Brauns Arbeiten über die Erhöhung der Senderenergie vorausgestellt und diesen die Abstimmungsversuche von Slaby angereiht werden müssen.

Auf die gesetzliche Regelung der drahtlosen Telegraphie wurde, so verlockend es auch gewesen wäre, nicht eingegangen, da dies einesteils zu weit geführt hätte, andernteils ein abgeschlossenes Ganzes nicht geboten werden konnte, fehlt es ja heute noch an internationalen Vereinbarungen mit Gesetzeskraft für die Abwicklung des drahtlosen Verkehrs. Es mag nur erwähnt werden, daß das allgemeine Bestreben dahin geht, auch diesen Teil der Nachrichtenvermittlung unter die Oberhoheit des Staates zu bringen und hat sich selbst das freie Amerika hiervon nicht ausgeschlossen. Für die Weiterentwicklung der drahtlosen Telegraphie würde dies wohl keinen Vorteil bedeuten und erklärt sich hieraus auch der Sturm der Entrüstung, der in allen amerikanischen Blättern tobte, als die nach europäischen Begriffen sicher liberalen Bestimmungen des amerikanischen Reglements verlautbart wurden, denn dort wird, und zwar mit Recht, nichts so sehr gefürchtet als die bureaukratische Bevormundung.

Dem Grundsatze getreu, die Literaturquellen, aus welchen geschöpft wurde, anzugeben, finden sich in zahlreichen Fußnoten Hinweise auf diese. Im Verlaufe der Erläuterung mußte man sich aber auch vielfach auf die im gleichen Verlage erschienenen vorangegangenen Werke des gleichen Verfassers und zwar im Texte oder als Fußnote berufen. Um nun nicht jedesmal den vollen Wortlaut wiedergeben zu müssen, bediente man sich der folgenden Abkürzungen:

Die drahtlose Telegraphie . . . . . = d. T.
Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie = F. d. T.
„ „ „ „ „ „ „ „ II. = F. d. T. II.

Digitized by Google

Elektrotechnische Zeitschrift . . . . . = E. T. Z.
Annalen der Physik . . . . . = A. d. Ph.
Physikalische Zeitschrift . . . . . = Ph. Z.
L'Éclairage Électrique . . . . . = E. E.
Electrical Review . . . . . = E. R.
Electrical World and Engineer . . . . . = E. W.
Band . . . . . = Bd.
Seite . . . . . = S.

B. Theorien und physikalisch-theoretische Untersuchungen.

Eine neue Theorie der drahtlosen Telegraphie[1]). Ingenieur J. Hettinger bringt eine neue Theorie der drahtlosen Telegraphie, in welcher er sich vorläufig auf die beschreibende Erklärung der Grundzüge und der leitenden Erscheinungen beschränkt, die mathematische Begründung aber bis nach deren vollständigen Ausarbeitung vorbehält.

Wiewohl nun ein Bedürfnis nach einer neuen Theorie für die drahtlose Telegraphie dermalen nicht vorliegt und die Wellentheorie vollkommen ausreicht, so verdient doch das Bestreben nach Vereinfachung unter Rückführung auf die Gesetze der Wechselströme umsomehr alle Anerkennung, als sich damit alle in Frage kommenden Erscheinungen, wenn auch teilweise nur in gezwungener Weise, erklären lassen. Manchem, dem die Wellentelegraphie an und für sich etwas ferner liegt, welcher ihr aber ein naturgemäßes Interesse entgegenbringt, wird diese Art der Erklärung auf Grund allgemein bekannter Gesetze daher willkommen sein und erscheint sohin deren auszugsweise Vorführung hier sicher gerechtfertigt.

1. Der elektrische Stromkreis für die drahtlose Uebertragung auf große Entfernungen. Die Hochfrequenzströme. Die in der drahtlosen Telegraphie verwendeten elektrischen Schwingungen finden ihren Ursprung in dem elektrischen Funken, welcher zwischen den zwei Kugeln einer Funkenstrecke überspringt. Diese Funkenkugeln sind einesteils mit der Sekundären einer Induktionsrolle, anderenteils mit einer Kombination von Selbstinduktion und Kapazität verbunden.

Die Sekundäre S der Induktionsrolle liefert einen Wechselstrom für das ganze System, welcher in Form von Funken zwischen den

[1]) E. E. Bd. 38, Nr. 13.

Digitized by Google

beiden Kugeln überspringt und wird hierdurch in elektrische Schwingungen transformiert, welche in dem Kreise fCL (Fig. 1) zirkulieren. Diese elektrischen Schwingungen sind aber nichts anderes als Wechselströme von hoher Frequenz.

2. Charakter der Wechselströme für hohe Frequenz. Die wichtigsten Eigenschaften dieser Wechselströme sind die folgenden:

a) Sie haben während jeder Periode eine nahezu sinusoidale Form und hat deren elektromotorische Kraft und Intensität eine verschiedene Periode.

b) Diese Ströme dämpfen sich während einer Zeitdauer AA_1 (Fig. 2) ab, welche nahezu einer Viertelperiode des von der Induktionsrolle gelieferten Wechselstromes entspricht.

c) Die Linie, welche die einzelnen Spannungsbäuche des sich

Fig. 1.

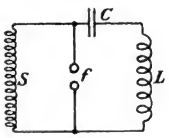


Fig. 2.

abschwächenden Wechselstromes verbindet, ist ebenfalls eine periodische Kurve, welche in der Regel die gleiche Periode hat, wie der von dem Induktorium gelieferte Wechselstrom.

3. Einfluß der Kapazität und Selbstinduktion. Zwischen den Wechselströmen niedriger und hoher Frequenz besteht eine Reihe physikalischer Analogien, auf deren Details vorläufig jedoch nicht eingegangen wird. Hier sollen nur die beiden fundamentalen Formeln für Wechselströme und zwar

$$E_L = i\,m\,L \text{ und } i_c = E_c\,m\,C$$

betrachtet werden. Aus diesen Formeln ist zu ersehen, daß die Frequenz $m = 2\pi\nu$ immer an die Selbstinduktion L und an die Kapazität C in einer Weise gebunden ist, durch welche, wenn m sehr groß wird, wie dies bei den für die drahtlose Telegraphie zur Anwendung gelangenden Schwingungen zutrifft, die zugehörigen elektromotorischen Kräfte und Intensitäten, selbst wenn L und C sehr klein werden, einen großen Einfluß erhalten können, während $e = ir$, welches in der Regel mit den vorstehenden Formeln kombiniert wird, unter verschiedenen Bedingungen nur von sekundärer Bedeutung ist, so daß

Digitized by Google

Erscheinungen auftreten, welche auf andere Weise nicht erzielt werden können.

Die einleitenden Betrachtungen werden vorausgesendet, um an deren Hand, bevor auf die Erscheinungen der drahtlosen Telegraphie eingegangen wird, die beiden Arten von Wechselströmen einem Vergleiche zu unterziehen, wobei vorerst die Analyse und sodann erst die Synthese der allgemeinen Erscheinungen durchgeführt werden soll.

4. Die Uebertragung. Von der großen Anzahl der Verbindungsanordnungen für die Uebertragung soll eine beliebige herangezogen werden, da das Prinzip für alle das gleiche bleibt.

In dem Schema Fig. 3 ist f die Quelle für die Hochfrequenz-

Fig. 3.

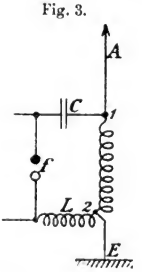
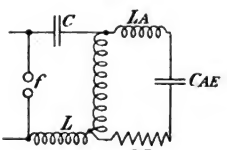


Fig. 4.



ströme, welche in dem Kreise fCL zirkulieren und die im nachfolgenden zum Zwecke der Abkürzung stets mit Hf. bezeichnet werden sollen. Diese Ströme werden in den Punkten 1 und 2 abgezweigt, in dem der Luftdraht A, welcher ebenfalls eine bestimmte Selbstinduktion hat, mit der Erde E eine Kapazität darstellt. Als Folge dieser Anschauung läßt sich dieses Schema wie in Fig. 4 darstellen. Dieses Schema erhält für die noch zu entwickelnde Theorie eine viel exaktere Form und wurde hier nur der Einfachheit wegen in dieser Weise vorgeführt.

Die längs des Luftdrahtes verteilte Kapazität und Selbstinduktion ruft in dem Drahte aus Ursache der hohen Frequenz ähnliche Erscheinungen hervor, wie solche unter dem Namen der Ferranti-Phänomene bekannt sind.

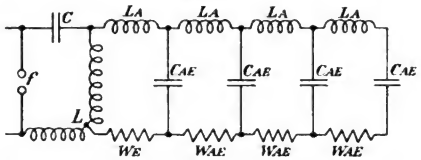
Eine theoretische Betrachtung dieser Erscheinung läßt erkennen, daß sich aus Ursache der hohen Frequenz an der Spitze des Luftdrahtes ein Bauch der Spannung und ein Knoten der Intensität und an der Erde ein Knoten der Spannung und ein Bauch der Intensität ausbilden muß.

Digitized by Google

Verteilt man die Selbstinduktion und die Kapazität entlang des Luftdrahtes, so nimmt das Schema viel genauer die in Fig. 5 dargestellte Form an.

Die ohne Erde arbeitenden Einrichtungen erhalten unter den

Fig. 5.



gleichen Voraussetzungen die schematischen Formen Fig. 6 und 7. Der an den beiden Punkten 1 und 2 abgezweigte Stromkreis setzt sich sonach zusammen aus L_A (Selbstinduktion des Luftdrahtes), C_{AE} (Kapazität zwischen Luftdraht und Erde), C_E (Kapazität zwischen den angehängten Kapazitätsflächen und der Erde) und aus W (Widerstand des Kreises).

Es vollzieht sich sonach auch hier der ganze Vorgang unter Mitwirkung der Erde und ist in diesem Falle das Arbeiten

Fig. 6.

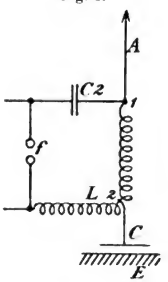
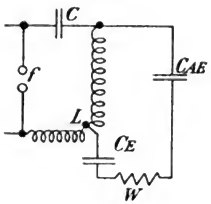


Fig. 7.



ohne Erde nur ein anscheinendes; tatsächlich ist die Erde aus Ursache der Hf. hier ebenfalls ein notwendiges Zwischenglied und erscheinen demnach zwei Kondensatoren C_E und C_{AE} in Serie verbunden, welche mit der Selbstinduktion des Luftdrahtes den abgezweigten Stromkreis bilden.

Diese Betrachtungen erklären die bei der Uebertragung auf-

Digitized by Google

tretenden Erscheinungen in einer ausreichend bestimmten Weise, um sie auf Grundlage der wissenschaftlichen Errungenschaften der Elektrotechnik auch rechnerisch verfolgen zu können.

5. Der Empfang. Bevor auf die eigenartigen Erscheinungen der Uebertragung auf große Entfernungen näher eingegangen werden kann, müssen die Einrichtungen für den Empfang ebenfalls einer Betrachtung unterzogen werden, für welchen Zweck ein beliebiges Empfangsschema, wie beispielsweise das in Fig. 8, herangezogen wird.

Für gewöhnlich erklärt man die Wirkung dieser Einrichtungen wie folgt: Die elektromagnetischen Wellen treffen den Luftdraht

Fig. 8.

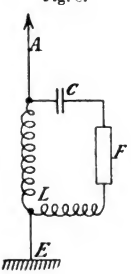
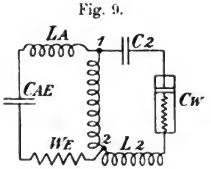


Fig. 9.



und erregen in ihm Hf. Ohne auf die nähere wissenschaftliche Erklärung dieser Wirkung einzugehen, kann man sich vorläufig mit der Tatsache begnügen, daß in den Empfangseinrichtungen gleichfalls Hf. zirkulieren.

Die Einrichtungen für die Sendung und den Empfang sind im allgemeinen ähnlich angeordnet, und es läßt sich, wenn auch die Werte der Ströme, welche durch Uebertragung von der einen Stelle auf die andere erregt werden, sehr geringe sind, für den Empfang ein der Uebertragung analoges Schema aufstellen (Fig. 9). Die Hf., welche zwischen L_A, C_{AE}, L_2 und W_E zirkulieren, finden an den Punkten 1, 2 eine Abzweigung, welche aus C_2 L_2 f_2 und dem Fritter C_W gebildet wird. Es frägt sich nur, welchen elektrischen Wert der Fritter hat, um den Stromkreis genau feststellen zu können.

Der Fritter ist nun als ein Kondensator von großer Kapazität zu betrachten. Die Einwirkung dieser Kapazität auf Hf. ergibt sich aus der Formel $i_c = E_c m C$, welche zeigt, daß der durch den Fritter gebildete

Digitized by Google

Kondensator, wenn E_c einen entsprechenden Wert erreicht, plötzlich von einem Strome i_c durchflossen wird, welcher kräftig genug ist, um dessen Widerstand zu überwinden. Der Fritter wird hierdurch momentan aus einem Kondensator zu einem Leiter. Der entsprechende Wert von E_c wird durch Regulierung von L_2 oder C_2 erhalten, geradeso wie man bei einem niederfrequentem Wechselstrome durch Aenderung der Selbstinduktion und der Kapazität viel kräftigere elektromotorische Kräfte erhalten kann, als durch die diesen Wechselstrom erregende elektromotorische Kraft (Resonanz).

Der Fritter ist demnach vom elektrischen Standpunkte einmal

Fig. 10.

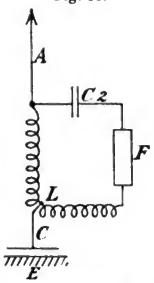
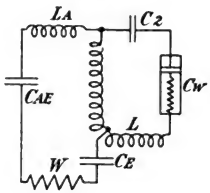


Fig. 11.



als Kapazität, einmal als Widerstand zu betrachten und wird demnach in dem Schema mit dem Symbol C_w bezeichnet.

Diese Betrachtungen zeigen, daß die beim Empfange auftretenden Erscheinungen gleichfalls den Gesetzen der Wechselströme entsprechen.

Zu den schematischen Darstellungen der Empfangseinrichtungen ist hier noch zu bemerken, daß das vollständige Schema eine der Fig. 5 analoge Form annimmt. Für Empfangseinrichtungen ohne Erdung ergeben sich die in Fig. 10 und 11 dargestellten Schemas, welche ihrerseits wieder analog jenen für die Sendung ohne Erde (Fig. 6 und 7) sind.

6. Der gesamte Uebertragungskreis. Nach Durchführung der Zergliederung der Erscheinungen kann nunmehr an die Zusammenlegung der allgemeinen Erscheinungen der drahtlosen Telegraphie geschritten und die Gesamtheit des Problemes betrachtet werden.

a) In einem Kondensator, wie klein auch dessen Kapazität sein mag, hat die Frequenz $m = 2\pi\nu$, welches auch der Faktor der Kapazität in den Formeln sein mag, stets einen sehr großen Wert.

Digitized by Google

Ist die einwirkende Spannung ausreichend groß, so daß $Q = CV$ einen nicht zu vernachlässigenden Wert erhält, so ist auch jeder andere Kondensator abweichender Form in einem von Hf. durchflossenen Kreise als wirklich existierend zu betrachten. Die beiden Luftdrähte für die Entsendung und den Empfang stellen aber einen solchen Kondensator dar. Es wird daher ein Verschiebungsstrom

Fig. 12.

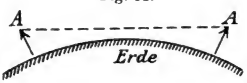
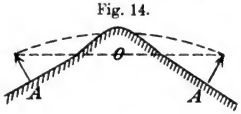


Fig. 13.

entstehen und sind durch diesen Kondensator auch alle anderen notwendigen Bedingungen erfüllt.

Ragen die beiden Luftdrähte so weit über den Erdboden, daß die gerade Verbindungslinie der beiden Drahtenden (Fig. 12) kein Hindernis trifft, so steht das Vorhandensein eines derartigen Kondensators außer allem Zweifel. Kann jedoch diese Verbindungslinie die beiden Drahtenden wegen eines zwischenliegenden Hindernisses nicht

Fig. 14.



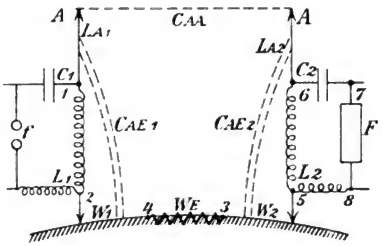
treffen, so ist das Bestehen eines durch die beiden Luftdrähte gebildeten Kondensators dennoch möglich, wenn die Fluglinie des Verschiebungsstromes das Hindernis nicht schneidet (Fig. 13) oder wenn das Hindernis zwar durch diesen Strom geschnitten wird, aber dabei selbst ein guter Leiter ist. Es teilt dann dieses Hindernis den von den Drähten gebildeten Kondensator in zwei in Serie geschaltete Kondensatoren (Fig. 14). Es wird sonach ein Verschiebungsstrom immer bestehen können, wenn eine dieser Bedingungen erfüllt ist.

Digitized by Google

Außerdem zeigen diese Erwägungen, daß nur irgend ein Teil der oberen Partie der Luftdrähte die Rolle eines Kondensators von Luftdraht zu Luftdraht übernimmt, wogegen die Verschiebungsströme an dem unteren Teile des Luftdrahtes einem Kondensator Luftdraht-Erde entsprechen.

Eine Folge dieser Betrachtungen ist, daß die elektromagnetischen Wellen direkt mit den Vorgängen in jedem Kondensator verglichen werden können, dessen Dicke des Dielektrikums im Vergleiche zu jenem, welches zwischen den beiden Luftdrähten liegt, eine sehr geringe ist. Dieser Vergleich ist nicht nur logisch, sondern erweist

Fig. 15.



sich auch praktisch für die Verfolgung der Vorgänge bei der Telegraphie ohne Draht.

b) Es können keine Stromkreise bestehen, die nicht geschlossen sind. Dies ist eine schon lange erkannte Tatsache. Es müssen daher auch die hier in Betracht gezogenen Stromkreise geschlossen werden. Zu diesem Zwecke ist es notwendig, die beiden Schemas der Uebertragung und des Empfanges als Ganzes ins Auge zu fassen (Fig. 15). Diese Darstellung ist außer Verhältnis gezeichnet, um die verschiedenen Stromkreise besser übersehen zu können.

Die Quelle f der Hf. sendet die Ströme in die folgenden Stromkreise:

1. Stromkreis fC_1L_1.

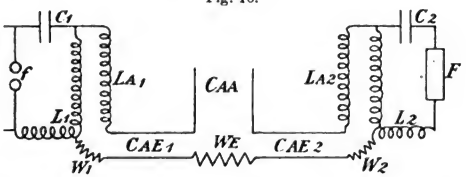
2. An den Punkten 1 und 2 ist in Abzweigung ein zweiter Stromkreis angeschlossen und verlaufen die Ströme von Punkt 1 über die Selbstinduktion L_{A1} des Luftdrahtes, die Kapazität Luftdraht-Erde C_{AE_1} und einen bestimmten Widerstand W_1, um sich wieder bei 2 zu vereinigen. Bei den Anordnungen ohne Erde ist der Stromkreis ganz

Digitized by Google

der gleiche, nur daß mit der Kapazität C_{AE} noch eine Kapazität C in Reihe verbunden ist.

3. An den Punkten 3 und 4 unterliegt der Strom einer neuerlichen Abzweigung. Der Stromkreis bildet sich durch die Kapazität Luftdraht-Luftdraht C_{AA}, die Kapazität Luftdraht-Erde C_{AE_2} und den Widerstand W_2 eines Teiles der Erdoberfläche, welche die beiden

Fig. 16.



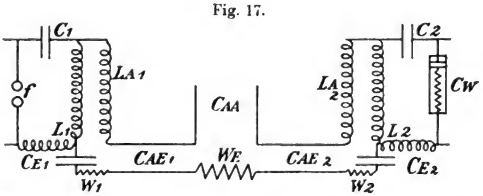
Stationen trennt. Dieser Uebertragungsstromkreis vereinigt sich an den Punkten 3 und 4 mit dem eigentlichen Erregungskreise.

4. Die beiden Armaturen des Kondensators C_{AE_2} sind durch einen Stromkreis L_{A_2} (Selbstinduktion des Luftdrahtes), L_2 und W_2 verbunden.

5. Von den Punkten 5 und 6 dieses Stromkreises zweigt wieder der Stromkreis C_2 L_2 ab.

Der Stromkreis 5 steht sonach unter der Einwirkung des Funkens f

Fig. 17.



durch Mitwirkung der Stromkreise 1—4, und reguliert die durch schwache Gleichströme bewirkte Aufschreibung.

Diese Zusammenziehung der gesamten Vorgänge bei der Telegraphie ohne Draht ist in den Fig. 16 und 17 schematisch dargestellt, wobei sich Fig. 17 auf die nicht geerdeten Einrichtungen bezieht.

Schlußfolgerungen. Auf Grundlage der vorliegenden Erwägungen lassen sich an der Hand der zugehörigen Schemas folgende noch offen stehende Fragen beantworten:

Digitized by Google

a) Welche Rolle spielt der Luftdraht?

b) Welchen Einfluß hat dessen Höhe?

c) Welche Rolle spielt die Erde?

d) Welches ist der Einfluß der verschiedenen Leitungsfähigkeit der Erdoberfläche?

Durch die Zurückführung der elektrischen Energieübertragung ohne Draht auf große Entfernung auf ein Wechselstromproblem wird das Problem der drahtlosen Telegraphie auf einen Teil der wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik hinübergelenkt, welcher bereits vollkommen erforscht ist, so daß sich dessen Verfolgung und Erkenntnis wesentlich erleichtert.

Das Gesetz der elektrischen Durchschläge. Bereits vor Jahren gelangte C. Baur[1]) auf Grund eingehender Versuche zur Annahme, daß für Durchschläge dielektrischer Körper durch den elektrischen Funken sehr wahrscheinlich das einfache Gesetz

$$V = c\,d^{2/3}$$

gilt, worin V die Durchschlagsspannung in Volt, d die Dicke des Dielektrikums in Millimeter und c eine Konstante ist, welche für jedes Material einen anderen aber bestimmten Wert hat.

Da dieses Gesetz für die gesamte Hochspannungstechnik, insbesondere für den Bau von Kabeln und Maschinen, sowie in neuerer Zeit auch für die Funkentelegraphie von großer Wichtigkeit ist und der Verfasser über neues wichtiges Beobachtungsmaterial verfügt, kommt er nochmals auf diesen Gegenstand zurück[2]) und führt eine Reihe von Tabellen vor, in welchen für verschiedene Materialien und verschiedene Dicken die beobachteten und die berechneten Durchschlagsspannungen, sowie die Differenzen in Prozenten angegeben sind, um so an der Hand dieser Daten die Prüfung zu ermöglichen.

Die Konstante c wurde für jedes der untersuchten Materialien aus einer Reihe von Beobachtungen bestimmt und das Mittel der Berechnung zu Grunde gelegt. Diese Konstante ist die Spannung in Volt, die erforderlich ist, um 1 mm der betreffenden Substanz zu durchschlagen, und wird als spezifische elektrische Bruchfestigkeit bezeichnet.

Aus diesen Tabellen, welche sich nicht nur auf die eigenen, sondern auch auf die Untersuchung anderer Forscher beziehen, und Luft, Glimmer, Paraffin und Hartporzellan umfassen, läßt sich wohl

[1]) Electricien, 6. Sept. 1901.

[2]) E. T. Z. 1904, S. 7.

Digitized by Google

eine annähernde Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Werten erkennen, und gestattet sonach diese Formel eine praktischen Bedürfnissen entsprechende, approximative Schätzung der Spannung für verschiedene Dicken des Dielektrikums.

Diese Formel, welche als Näherungsformel sehr nützlich sein kann, als Durchschlagsgesetz zu bezeichnen, geht, wie K. Krogh ganz richtig bemerkt[1]), denn doch nicht an, da die Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Werten viel zu groß sind, um sie nur Beobachtungsfehlern zuschreiben zu können. Untersuchungen an flüssigen Isolationsmaterialien, deren Homogenität sich leicht kontrollieren läßt, zeigten, daß die Abweichungen von sehr verschiedener Größe sind, wenn auch die berechneten Spannungen bei kleinem d zu klein und bei größerem d zu groß werden. In allen Fällen ändern sich aber die Abweichungen ganz stetig, was als Beweis dafür anzusehen ist, daß die Formel nur eine Näherungsformel aber kein Gesetz sein kann.

Aber auch als Näherungsformel ist diese Formel nur mit Vorsicht zu gebrauchen, da die Abweichungen bei kleinem d am größten sind, so daß insbesondere das Extrapolieren sehr gefährlich erscheint. So würde man für einen bestimmten Fall, wenn nur Beobachtungen bis zu $d = 5$ mm zur Verfügung stünden, mit einer Konstanten von mindestens 12 150 rechnen müssen und für $d = 50$ mm eine Durchschlagsspannung von 165 000 Volt ausrechnen, während die beobachtete Spannung 95 000 Volt beträgt. Dieser Unterschied ist selbst für näherungsweise Schätzung viel zu groß.

Baur hält in seiner Erwiderung[2]) an der gegebenen Formel fest und bemerkt, daß bei den Beobachtungen, mögen sie auch noch so sorgfältig und gewissenhaft durchgeführt werden, leicht Fehler und zwar systematische unterlaufen können. So ist für eine richtige Beobachtung vorerst experimentell festzustellen, daß das Umsetzungsverhältnis des Transformators bei schwacher und starker Magnetisierung das gleiche bleibt und auch die Kurve der Spannung unter diesen Verhältnissen sich nicht ändert, und drittens, ob die Form der Elektroden keinen Einfluß auf die Funkendistanz hat.

Er ist der Ansicht, daß sich ein endgültiges Urteil über seine Formel zur Zeit noch nicht abgeben läßt, da fehlerfreies Beobachtungsmaterial nicht so leicht zu beschaffen ist, daß aber seine Formel jeden-

[1]) E. T. Z. 1904, S. 139.
[2]) E. T. Z. 1904, S. 228.

Digitized by Google

falls einen Fortschritt bedeutet und selbst wenn sie nur annähernd richtig ist, viel zur Abklärung beitragen wird, umsomehr, als sie sich allen Aggregationszuständen anschmiegt und demnach wohl als ein Gesetz betrachtet werden darf. Auch dürfte die von ihm eingeführte und als elektrische Bruchfestigkeit bezeichnete Konstante c einmal in der molekulären Mechanik der elektrischen Vorgänge sicher eine Rolle spielen.

Dr. B. Walter[1]) schließt sich bezüglich des Gesetzes von Baur den Anschauungen Kroghs an und sucht auf Grund von eigenen und unter Heranziehung der Baurschen Beobachtungen nachzuweisen, daß speziell für die atmosphärische Luft, welche sich auch unter den von Baur angegebenen Substanzen befindet, wenigstens für Spitzenelektroden und größere Funkenstrecken zwischen 5 und 45 cm, ein ganz anderes Gesetz, nämlich die lineare Formel

$$V = a + b\,d$$

gilt. Für diesen Nachweis wurden die Angaben des American Institute of Electrical Engineers mitbenützt und die Beobachtungen mit den eigenen Berechnungen, sowie mit der Berechnung nach Baur in eine Tabelle vereinigt, in welcher auch die sich ergebenden Differenzen zwischen den so ermittelten verschiedenen Werten angeführt erscheinen. Es ist die Uebereinstimmung zwischen den von ihm berechneten und den beobachteten Werten viel größer, als zwischen den von Baur berechneten Werten, und ist die größte Differenz nach Walter geringer, als die kleinste der für die Baursche Formel stattfindenden, und findet bei letzterer auch nicht jene stetige Aenderung dieser Differenzen statt, welche Krogh als Hauptbeweis für die Unrichtigkeit des Baurschen Gesetzes anführt.

Bei solchen Versuchen darf nicht die effektive, sondern nur die maximale Spannung in Rechnung gezogen werden, da nur diese allein für die Entstehung des Funkens maßgebend sein kann. Das Verhältnis zwischen effektiver und maximaler Spannung ändert sich, sinusförmig verlaufenden Strom vorausgesetzt, für die verschiedenen Funkenlängen nicht merklich und kann, wie dies später gezeigt wird, der genaue Wert der Maximalspannung berechnet werden.

Die angegebene Formel gilt jedoch, wie bereits erwähnt, nur für große Funkenlängen über 5 cm, nicht aber auch für kleinere, da sich mit abnehmendem Werte von d der Wert von V zuletzt der Null nähern müßte, nicht aber einem konstanten Werte von 16000

[1]) E. T. Z. 1904, S. 874.

Digitized by Google

bis 17 000 Volt, wie er sich aus der Formel auf Grund der Beobachtung ergibt. Dieser anscheinende Widerspruch läßt sich dadurch erklären, daß bei Entstehung des Funkens zwei verschiedene Widerstände in Betracht kommen, nämlich der Uebergangswiderstand an den Elektroden einer- und der Widerstand der zwischen ihnen liegenden Luftschicht als solcher anderseits. Die Annahme eines Uebergangswiderstandes ergibt sich aus der bekannten Tatsache, daß für die Erreichung einer bestimmten Funkenlänge bei Verwendung von Kugel- oder Plattenelektroden wesentlich höhere Spannungen notwendig werden, als bei Spitzenelektroden. Beispielsweise erreichte E. Voigt mit einer Gleichstromspannung von 90 000 Volt zwischen zwei Kugeln von 6 cm Durchmesser nur eine Schlagweite von 4 cm, Töpler dagegen zwischen einer positiven Spitze und einer großen negativen Platte eine solche von 25 cm.

Der Uebergangswiderstand spielt sonach eine wichtige Rolle und ist am geringsten, wenn als Elektroden zwei Spitzen verwendet werden. Der Einfluß dieses Widerstandes wird umso größer, je kleiner die Funkenstrecke ist. Es scheint, daß der Uebergangswiderstand für kleinere Funkenlängen eine veränderliche Größe ist, welche mit zunehmender Schlagweite einem konstanten Werte zustrebt, der bei etwa 5 cm erreicht wird.

Nimmt man dies und ferner auch, wie es wahrscheinlich ist, an, daß der Widerstand der Luftstrecke als solcher proportional zu der Länge ist, so erhält man für den Gesamtwiderstand

$$w = \alpha + \beta d,$$

worin α und β gleichfalls zwei Konstante sind. Aus dieser und der Spannungsgleichung $V = a + bd$ ergibt sich

$$\frac{V - a}{w - \alpha} = \frac{b}{\beta} = \text{konstant}.$$

Die Größe $V - a$ ist nun jene Spannung, welche zur Ueberwindung des Luftwiderstandes allein unabhängig vom Uebergangswiderstand nötig wird und stellt sohin gewissermaßen die Klemmenspannung der Luftstrecke dar. $w - \alpha$ bedeutet nun den Widerstand dieser Strecke und muß sohin das Verhältnis $\frac{V - a}{w - \alpha}$ den im Augenblicke der Funkenbildung übergehenden Strom darstellen, wenn V nicht den effektiven, sondern den Maximalwert der Spannung bedeutet.

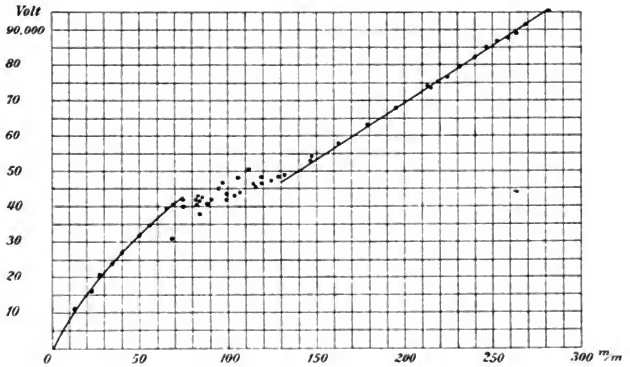
Dieser Strom ist aber, wie unmittelbar vorhin gezeigt, für alle Funkenlängen konstant und bedeutet, daß unter den in Rede stehen-

Digitized by Google

den Verhältnissen im Augenblicke der Ausbildung des Funkens der Wert des durch die Luft gehenden Ionisationsstromes für alle Funkenlängen der gleiche ist oder zum Zustandekommen eines Funkens ein für alle Funkenlängen gleichbleibender Minimalwert des Ionisationsstromes der Luft gehört.

Der Ausdruck Ionisationsstrom erscheint hier gerechtfertigt, weil man es in jedem Augenblicke, welcher der Bildung des Funkens vorangeht, gewissermaßen mit einem Zwischending zwischen den

Fig. 18.



Leitungsströmen und den in der Elektrostatik eine große Rolle spielenden Verschiebungsströmen zu tun hat.

Zu diesen Versuchen gibt W. Weicker[1]) auf Grund bereits früher durchgeführter Versuche als Ergänzung bekannt, daß die lineare Beziehung zwischen Schlagweite und Elektrodenabstand, wenigstens innerhalb der benützten Spannungen bis zu 100000 Volt, nur für Spitzen- oder Plattenelektroden gilt, und zwar nur von einer gewissen Funkenlänge ab. Hierbei ist der Uebergang zu der durch den Nullpunkt gehenden Kurve auffallenderweise kein allmählicher (Fig. 18), sondern durch eine ziemlich unregelmäßige Lage der Punkte gekennzeichnet, was besonders deutlich bei Versuchen zwischen Spitzen- und Plattenelektroden hervortritt.

[1]) E. T. Z. 1904, S. 947.

Digitized by Google

Bei zwei übereinander angeordneten Kugelelektroden gehören von einer gewissen Funkenlänge zu jedem Elektrodenabstande zwei bezw. mehrere Spannungswerte, da sich dann bei einer gewissen Spannung eine Anzahl nebeneinander stehender, auf der Oberfläche der unteren Kugel mit der Spitze aufstoßender, violett leuchtender Kegel ausbilden, welche Erscheinung mit einem ganz besonderen Geräusche verbunden ist. Mit dem Einsetzen dieser Entladungsform, die durch den unteren Ast der Kurve gekennzeichnet ist, treten bisweilen schon Funken zur oberen Kugel auf. Im anderen Falle erst bei Spannungswerten, die dem oberen Kurvenaste zugehören und nur in selteneren Fällen auch bei mittleren Spannungswerten.

Die Kurve verläuft jedoch dann gleichmäßig, wenn die Elektroden nebeneinander angeordnet werden und geht in diesem Falle der Funkenentladung kein optisches oder akustisches Merkmal voraus.

Bei Spitzenelektroden läßt sich ein solcher Einfluß der Elektrodenanordnung hingegen nicht nachweisen.

Die von Walter erwähnten Abweichungen der absoluten Größen seiner Beobachtungswerte von denen des American Institute of Electrical Engineers lassen sich sowohl auf verschiedene Kurvenform, als auch auf andere Einflüsse zurückführen, da nach eigenen Untersuchungen Unterschiede ähnlicher Größenordnung an zwei unter ganz gleichen Versuchsbedingungen, aber an verschiedenen Tagen aufgenommenen Versuchsreihen festgestellt werden konnten.

Hier sei für Interessenten gleich auf die bemerkenswerte und bedeutende Arbeit von Ingenieur Moscicki[1]) über „elektrische Durchschläge“ verwiesen, auf welche hier, wiewohl sie viel des Interessanten bietet, wegen nicht ausreichender Deckung mit dem zu behandelnden Gegenstande nicht eingegangen werden kann, gleichwie auf die Mitteilung Dr. Hieckes[2]) „über Versuche über einen Transformator hoher Eigenschwingung, in Anlehnung an die unter dem gleichen Titel erschienene Arbeit von Leo Lichtenstein“[3]).

H. Grob[4]) bringt gleichfalls die Ergebnisse einer Reihe von Versuchen zur Vorführung, die er zu dem Zwecke durchführte, um die Verhältnisse des Funkenüberschlages bei der Prüfung von Transformatoren aufzuklären, nachdem bei Anwendung der Prüfspannungen Ueberschläge auftraten, die mit dem Walterschen Gesetze in Widerspruch

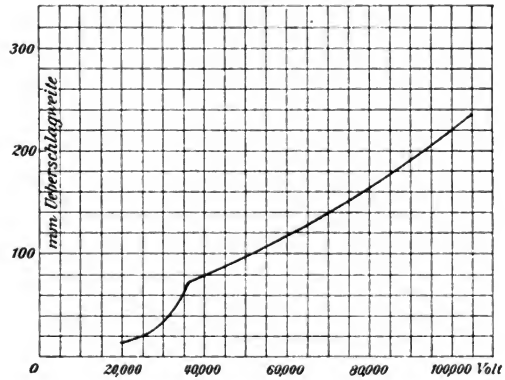
[1]) E. T. Z. 1904, S. 527 u. 549.
[2]) E. T. Z. 1904, S. 966.
[3]) E. T. Z. 1904, S. 869.
[4]) E. T. Z. 1904, S. 951.

Digitized by Google

standen. Da die Elektrodenformen auf die Ueberschlagsweite einen großen Einfluß ausüben, suchte er sich von den Aenderungen der Formen frei zu machen, indem er für seine erste Versuchsreihe Nadelspitzen in der Weise anwendete, daß nach jedem Ueberschlag stets neue Nadeln eingesetzt wurden. Der eine Nadelhalter war fest, der andere auf einer Bahn längs einer Skala verschiebbar. Die verschiebbare Nadel wurde bei vorher eingestellter Spannung der festen langsam so lange genähert, bis Funkenüberschlag eintrat. Der Strom hatte einen rein sinusförmigen Verlauf.

Bis zu einer Spannung von 45000 Volt bildeten die aufgenom-

Fig. 19.



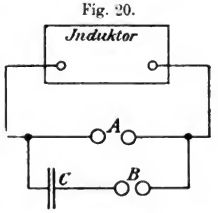
menen Punkte eine sehr schöne Kurve, von da aber gestaltete sich die Sache durch einen unbekannten Einfluß fortwährend wechselnd, so daß die aufgenommenen Punkte vollkommen verstreut schienen, wiewohl die untersten Punkte die genaue Fortsetzung der begonnenen Kurve bildeten. Eine Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung konnte nicht sofort gefunden werden. Nach Ersatz der Spitzen durch Stahlkugeln wurde zwar eine eindeutig bestimmte Kurve von großer Schärfe erhalten. Es wurde jedoch in den sonst schön und gesetzmäßig verlaufenden Kurven stets ein sonderbarer Buckel (Fig. 19) gefunden, dessen Ursache ebensowenig zu ergründen war. Einmal mußte jedoch eine kleine Abänderung an der Zuleitung getroffen werden und zeigte sich nach Wiederaufnahme der Versuche, daß sich

Digitized by Google

die Ueberschlagsweite bei gleichen Spannungen und Kugeln um etwa 40 % vergrößert hatte. Es ließ sich nun durch einige Versuche nachweisen, daß eine ganz kleine Veränderung der Lage der Zuleitungen, Veränderungen der Schlagweite bis zu 50 % hervorbrachte, und bei weiteren Verschiebungen der Drähte im gleichen Sinne die Länge der Funkenstrecke von einem Maximum zu einem Minimum überging. Da dies nur auf Kapazitätswirkungen zurückzuführen war, wurden zur Feststellung auf den Stielen der Elektroden kreisförmige Scheiben von 1 dcm Durchmesser verschiebbar befestigt. Durch Aufsetzen und Verschieben dieser Scheiben wurde der erwähnte Buckel verschoben, trat weniger scharf hervor und konnte ganz zum Verschwinden gebracht werden. Die Scheiben befanden sich hierbei mehrere Zentimeter hinter den Kugeln. Es scheint hier sonach eine Art Resonanz vorzuliegen, welche Ansicht durch den folgenden Versuch unterstützt wird, der zugleich zeigt, daß noch weitere elektrische Schwingungen mit im Spiele sein können.

Parallel zur Hauptfunkenstrecke A (Fig. 20) wurde ein zweiter Stromkreis geschaltet, der aus einer Kapazität C und einer kleineren Funkenstrecke B bestand. Die Kapazität bestand aus einer Hartgummiplatte von ca. 1 qm Fläche und 10 mm Dicke, auf beiden Seiten mit Stanniol belegt. Nach jedem Funkenüberschlag wurde die Nebenfunkenstrecke B etwas vergrößert, die Spannung jedoch konstant gehalten. Bei zunehmender Entfernung der Kugeln B, zwischen welchen fortwährend heftige Entladungen stattfanden, wurden die Schlagweiten der Hauptfunkenstrecke in einer Weise beeinflußt, daß die Kugeldistanz bis zu 10 % ihres anfänglichen Wertes schwankte, und zwar in wellenförmiger Zu- und Abnahme mit der Verlängerung der Nebenfunkenstrecke. Regelmäßigkeit war keine vorhanden und traten alle 1—3 cm wieder Maxima auf. Bei einem Abstande der Kugeln der Nebenfunkenstrecke von 85—88 mm stieg die Schlagweite zwischen den Hauptkugeln trotz konstant gehaltener Spannung von 60 000 Volt von 118 auf 170 mm und fiel wieder auf den ursprünglichen Wert, wenn die Nebenfunkenstrecke nur um etwa $^1/_{100}$ mm größer oder kleiner gemacht wurde. Man befindet sich sonach hier in einer Zone ausgesprochener Resonanz, wogegen bei geringeren Abständen der Nebenkugeln verschiedene Einflüsse, alle in wellenförmiger Abhängig-

Fig. 20.



Digitized by Google

keit von der Kugeldistanz B übereinander gelagert sind. Die Mikrometerschraube zum Verstellen der Nebenkugeln wurde nun so eingestellt, daß die überbrückte Entfernung A bei 60 000 Volt Spannung am größten war, sodann wurden die Nebenkugeln unberührt gelassen. Wurde nun mit den anderen Kugeln in Funktion der Spannung eine Kurve aufgenommen, so zeigt sich, daß bei der Spannung von 60 000 Volt der Gipfel eines der vorerwähnten Buckel war.

Bei einem anderen Versuche war mit der aus den gleichen Kugeln bestehenden Hauptfunkenstrecke eine zweite ganz kleine Funkenstrecke von ein paar Zehntelmillimeter Länge in Serie geschaltet und genügte dies, die Schlagweite bedeutend zu erhöhen.

Bei Betrachtung dieser Versuchsergebnisse läßt sich die Erscheinung der verstreuten Punkte der Aufnahmen des ersten Versuches dadurch erklären, daß die einem Pakete entnommenen Nadeln verschieden in ihrer Länge waren, wodurch, da der Abstand immer zwischen den Spitzen gemessen wurde, die Nadelhalter mit ihren nicht zu vernachlässigenden Stirnflächen bei jedem Punkte wieder in eine andere relative Lage zueinander kamen, und sich infolgedessen die Kapazität des Systemes mit der Vergrößerung der Funkenstrecke änderte.

Es kann eine Schlagweitekurve sonach keinen reinen Charakter haben, da mit der wechselnden Entfernung der Elektroden sich auch die Kapazität der Elektroden, die durch die einander gegenüberstehenden Elektrodenflächen gebildet wird, sich ebenfalls ändert, somit zwei Variable im Spiele sind. Hierdurch läßt es sich auch erklären, daß die Schlagweitekurven zweier verschiedener Elektrodenformen sich schneiden können.

Auffallend hierbei ist, daß die Schlagweitekurve der Nadeln gegenüber jener der Kugeln in diesem Falle kleinere Entfernungen aufwies, trotz der allgemeinen Ansicht, daß Spitzenelektroden das Durchschlagen der Luft erleichtern, was Walter dem geringeren Uebergangswiderstand zuschreibt. Es ist hiernach sehr wahrscheinlich, daß die durch die Elektroden gebildete Kapazität im Vereine mit der zufällig vorhandenen Selbstinduktion von vorwiegendem Einfluß ist, gegen welchen die eigentliche Form der Elektroden fast ganz in den Hintergrund tritt.

Trotzdem ist die von Walter aufgestellte Beziehung $V = a + b\,d$ bei höheren Spannungen annähernd fast überall zutreffend, mit Ausnahme der ausgesprochenen Resonanzstellen.

Digitized by Google

Eine allgemeine Regel über die absolute Länge der Schlagweite ist nach Vorstehendem daher immer etwas Unsicheres und jedenfalls nur mit Vorsicht anzuwenden.

W. Voege[1]) suchte, da der Zusammenhang zwischen Schlagweite und Spannung für Funken von wenigen Zentimetern Länge durch vorhergehende Untersuchung und Messungen ziemlich zuverlässig festgestellt ist, die für größere Funkenstrecken gefundenen Spannungswerte, insbesondere die von Overbeck und dem Komitee für Normalien des American Institute of Electrical Engineers angegebenen jedoch größere Differenzen aufweisen, in diesen Gegenstand Klarheit zu bringen. Es wurden für die Versuche zwei verschiedene 50 cm-Induktorien benutzt, welche von einem mit Wechselstrom gespeisten Gleichstrom-Wechselstromumformer erregt wurden. Die Sekundärspannungen wurden durch Multiplikation der primären Maximalspannungen mit dem Uebersetzungsverhältnis bestimmt. Zur Bestimmung der maximalen Primärspannung wurde vorerst die effektive Spannung des Induktors mit einem Hitzdrahtvoltmeter gemessen und das Verhältnis zwischen maximaler und effektiver Spannung, sowie der Formfaktor c aus der Kurvenform mittels eines Wehneltschen Oszillographen oder der Braunschen Röhre durch Vergleichung mit einer entsprechenden Gleichstromspannung bestimmt. Der Faktor c, welcher für reinen Sinusstrom 1,41 beträgt, schwankte nach der Kurvenform von 1,45 bis 2,14.

In der Tabelle sind die vom Untersucher ermittelten Werte im Vergleiche mit den durch Multiplikation mit $c = \sqrt{2}$ auf Maximalspannung umgerechneten Werten des Institute of Electrical Engineers gegeben und zeigt sich hier eine zufriedenstellende Uebereinstimmung.

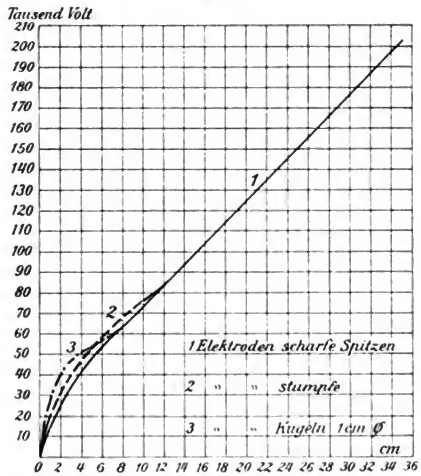
Funkenlänge cm	Werte von		Abweichungen
	Voege	American Institute of Electrical Engineers	Prozent
10	73,200	73,500	+ 0.4
12	82,600	83.100	+ 0,6
14	92,000	93.000	+ 1.7
16	101.000	102,500	+ 1.46
20	119.000	122,000	+ 1,72
25	140,600	146,000	+ 3,7
30	165,700	170,000	+ 2,5
35	190,900	194,800	+ 2.0

[1]) A. d. Ph. Bd. 14, 1904, S. 556.

Digitized by Google

Fig. 21 gibt eine graphische Darstellung der gefundenen Werte. Von 10 cm Funkenlänge an verläuft die Kurve geradlinig. Man ersieht auch aus dieser Figur, daß die Art der Elektroden für kleine Funkenlängen eine viel größere Rolle spielt als für große. Für kleinere Funkenlängen liegt der zu überwindende Widerstand hauptsächlich an der Uebergangsstelle zwischen Metall und Luft und kommt die Länge der Funkenstrecke noch weniger in Betracht. Anders ist dies bei

Fig. 21.



größeren Funkenlängen, da, wenn die Spannung bereits einen solchen Betrag erreicht hat, daß der Uebergangswiderstand ohne weiteres überwunden wird, der Widerstand der Luft in erster Linie in Betracht kommt. Dieser Widerstand kann nach Voege proportional der Länge des Luftweges gesetzt werden, wenigstens bis zu 40 cm Schlagweite.

Für Funkenlängen von 10—40 cm in Luft lautet daher das Schlagweitegesetz

$$V = 4800\, d + 24\,000,$$

worin V die Spannung und d die Dicke der Luftschicht in Zentimetern bedeutet.

Digitized by Google

Nach späteren Untersuchungen des gleichen Verfassers[1]) ist dieses Schlagweitegesetz auch für alle gasförmigen, flüssigen und festen Körper in der allgemeinen Form $V = Ad + B$ gültig, worin A und B zwei Konstante bedeuten.

Dr. G. Benischke[2]) spricht sich in seiner Arbeit „Ueber den Einfluß der Unterteilung einer Funkenstrecke und der Kapazität auf Funkenentladungen" dahin aus, daß die Messungen von Walter und Voege, weil im Laboratorium mit Funkeninduktoren angestellt, keinen technischen Wert haben. Auch ist die von diesen angewendete Berechnung des Scheitelfaktors der sekundären Spannung aus der primären effektiven Spannung, dem primären Scheitelfaktor und dem Uebersetzungsverhältnis unzulässig, weil wegen des hohen Widerstandes der sekundären Wicklung und der großen magnetischen Streuung schon durch die dem Funkenüberschlag vorausgehenden Entladungen ein bedeutender Spannungsabfall und eine bedeutende Veränderung des sekundären Scheitelfaktors bewirkt wird.

Das von Walter aufgestellte Gesetz $V = a + bd$ erscheint ihm dagegen, wenn keine störenden Einflüsse vorhanden sind, recht wahrscheinlich. Einwandfreie Messungen über Wechselstromentladungen, also auch über die Konstanten a und b, können seiner Ansicht nach nur mit Transformatoren von mindestens 5 Kilovoltampere normaler Leistung und geringer Streuung durchgeführt werden.

Wie sich aus allem diesem ergibt, ist das elektrische Durchschlaggesetz noch durchaus nicht einwandfrei festgestellt und wird es noch einer Reihe von Untersuchungen und Messungen bedürfen, um es als vollkommen brauchbar hinstellen zu können. Es müssen bei diesen Untersuchungen nicht nur die elektrisch in Betracht kommenden Größen, als Wellenform, effektive und maximale sekundäre Spannung, vorher genau festgestellt werden, sondern ist auch die chemische und physikalische Beschaffenheit des zu untersuchenden Dielektrikums einer eingehenden Würdigung zu unterziehen, da die Dielektrizitätskonstante jedenfalls von der chemischen Zusammensetzung und den unmittelbaren physikalischen Einwirkungen abhängig ist und es sich so erklärt, daß verschiedene Beobachter unter sonst ganz gleichen Versuchsbedingungen abweichende Ergebnisse erzielten. Bei der großen Wichtigkeit dieser Frage für die praktische Elektrotechnik wäre es von großem Werte, wenn eine über die nötigen Mittel verfügende

[1]) E. T. Z. 1904, S. 1033.
[2]) E. T. Z. 1905, S. 7.

Digitized by Google

elektrotechnische Vereinigung deren Lösung durch moralische und materielle Unterstützung zu fördern trachten würde.

Resonanzinduktorien[1]). Die rationelle Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen ist eine wichtige Aufgabe der Technik geworden. Die gebräuchlichste Methode beruht auf dem Ausgleiche hochgespannter Elektrizitätsmengen im elektrischen Funken, und besteht der erste Schritt zur Einleitung des Schwingungsvorganges in der Anhäufung elektrischer Massen zu einer solchen Potentialdifferenz, welche im stande ist, eine Luftstrecke zu durchbrechen.

Ursprünglich, wo wie bei der ersten Anordnung von Marconi nur ein einfacher aufsteigender Luftleiter mit Funkenstrecke und Erdverbindung verwendet wurde, bereitete die Ladung wegen des geringen Fassungsvermögens des Sendegebildes keine Schwierigkeiten und genügte ein Induktorium von ca. 20 cm Schlagweite mit einfachem Hammerunterbrecher vollauf, um dem Sender die erforderliche Spannung zuzuführen. Seit der Verwendung des von Braun für Zwecke der drahtlosen Telegraphie eingeführten Thomsonschen Schwingungskreises als Erreger des Sendedrahtes ist ein Bedürfnis für Einrichtungen vorhanden, welche größere Elektrizitätsmengen zu liefern vermögen.

Bei Versuchen, Kapazitäten von der Größenordnung 5000 bis 15000 cm mit den bekannten Hilfsmitteln, als Induktorien und Gleichstromunterbrechern, oder mit Wechselstrom und Wechselstromtransformatoren aufzuladen, zeigten sich die Uebelstände, daß die wirksame Spannung gegenüber Leerlauf sehr stark zurückgeht, der Stromverbrauch ein außerordentlich hoher ist und der Funke Neigung zum „Inaktivwerden" durch Flammenbogenbildung an den Polen der Funkenstrecke hat. Es ist nämlich eine Vorbedingung für das Entstehen schneller elektrischer Schwingungen nach der Funkenmethode, daß die Spannung plötzlich abfällt. Setzt daher der Funke, wie dies häufig vorkommt und sich auch an den Hörnerblitzableitern beobachten läßt, zu früh ein, so daß der nachfolgende Kurzschlußstrom noch sehr stark ist, so bildet sich ein Flammenbogen und der Funke wird „inaktiv".

Bei von Dr. Georg Seibt durchgeführten Versuchen wurde nun beobachtet, daß die Leistungsfähigkeit eines Induktoriums bei einer bestimmten Kapazitätsbelastung in Bezug auf Funkenlänge und Funkengüte ein Maximum aufweist. Die weitere Untersuchung führte zu einer einfachen Erklärung dieser Erscheinung und zu einigen für den Bau

[1]) E. T. Z. 1904, S. 276.

Digitized by Google

und Betrieb der Induktorien sehr wertvollen Ergebnissen. Insbesondere hat es sich als zweckmäßig erwiesen, den primären mit dem sekundären Stromkreise lose zu koppeln und auf Resonanz zwischen der eingeleiteten und der Eigenschwingung der Anordnung einzustellen.

Die so geschaffenen Induktoren, welche als Resonanzinduktoren oder Resonanztransformatoren bezeichnet werden können, werden nunmehr in der Praxis fast allgemein angewendet und ist es demnach Dr. Seibt zu danken, daß er die für die Wirkungsweise und den Bau dieser Induktorien maßgebenden Gesichtspunkte festgelegt und deren Theorie entwickelt hat. Stellt Fig. 22 schematisch ein sekundär mit Kapazität belastetes Induktorium dar, so

Fig. 22.

gelten für selbes unter Anwendung der gebräuchlichen Bezeichnungen folgende fundamentale Differentialgleichungen:

$$\left.\begin{aligned} E_1 + J_1 w_1 + L_1 \frac{dJ_1}{dt} + M \frac{dJ_2}{dt} &= 0 \\ E_2 + J_2 w_2 + L_2 \frac{dJ_2}{dt} + M \frac{dJ_1}{dt} &= 0 \\ J_2 = C \frac{dE_2}{dt} & \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 1)$$

Bei der vereinfachenden Annahme, daß das Induktorium mit sinusartigem Wechselstrome gespeist wird, erhalten diese Gleichungen unter Anwendung der jetzt gerechtfertigten symbolischen Darstellungsweise folgende Gestalt:

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{E}_1 + I_1 w_1 + i\,\omega\, L_1 I_1 + i\,\omega\, M I_2 &= 0 \\ \mathrm{E}_2 + I_2 w_2 + i\,\omega\, L_2 I_2 + i\,\omega\, M I_1 &= 0 \\ I_2 = i\,\omega\, C \mathrm{E}_2 & \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 2)$$

Durch die Einführung der Symbole werden sämtliche Rechnungen rein algebraisch und lassen sich demnach, wenn eine Größe gegeben ist, sämtliche übrigen durch die Operationen der Substitution und Elimination ermitteln.

Es sei im vornhinein erwähnt, daß hier zwischen zwei Arten der Resonanz unterschieden werden kann und zwar der Spannungsresonanz und der Strom- oder der magnetischen Resonanz, wobei die erstere durch das Anschwellen der sekundären Spannung zu einem Maximum, die letztere durch das Sinken des primären Stromes auf ein Minimum gekennzeichnet ist.

Betrachtet man vorerst die Spannungsresonanz, so ergibt, wenn I_1 und I_2 aus Gl. (2) eliminiert werden,

Digitized by Google

$$\mathrm{E}_1 = \frac{\mathrm{E}_2}{M}\Big\{ L_1 + C\,[w_1 w_2 - \omega^2 (L_1 L_2 - M^2)] + i\left[\omega\, C\,(L_2 w_1 + L_1 w_2) - \frac{w_1}{\omega}\right]\Big\}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Um einen schnellen Ueberblick über das Eintreten eines Resonanzeffektes zu erhalten, ist es am besten, vorerst die Verluste zu vernachlässigen. Setzt man daher in erster Annäherung

$$w_1 = w_2 = 0,$$

so erhält man aus Gl (3)

$$\mathrm{E}_1 = \frac{\mathrm{E}_2}{M}\,[L_1 - \omega^2\, C\,(L_1 L_2 - M^2)]. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

Ist die Kopplung zwischen dem primären und sekundären Stromkreise vollkommen fest oder durchsetzen sämtliche Kraftlinien der einen Spule auch die andere, und wird die Selbstinduktion der Maschine verschwindend klein, welche Annahme angenähert dann zutrifft, wenn ein guter, technischer Transformator von einer Zentrale mit großer Leistungsfähigkeit gespeist wird, dann ist

$$M^2 = L_1 L_2$$

und

$$\mathrm{E}_1 = \mathrm{E}_2 \frac{L_1}{M} = \mathrm{E}_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}.$$

Die Selbstinduktionen verhalten sich nun wie die Quadrate der Windungszahlen n_1 und n_2 und es wird

$$\mathrm{E}_1 = \mathrm{E}_2 \frac{n_1}{n_2}$$

oder in reeller Schreibweise

$$E_1 = E_2 \frac{n_1}{n_2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Die Spannungen verhalten sich demnach, welches auch die Periodenzahl und die Kapazitätsbelastung sein möge, stets wie die Windungszahlen der Spulen und findet demnach eine Spannungssteigerung über das Uebersetzungsverhältnis hinaus nicht statt.

Bei einer elastischen Kopplung hingegen, welche dann eintritt, wenn die beiden Spulen magnetische Streulinien besitzen oder das Induktorium von einer Maschine gespeist wird, welche in Bezug auf Leistung in der Größenordnung des Induktoriums liegt, ist die Selbstinduktion der Maschine als ungekoppelt zu rechnen. Nach dieser Auffassung bedeutet E_1 im folgenden nicht mehr die Klemmenspannung, sondern die in der Maschine induzierte Spannung und ist dann

Digitized by Google

$$M^2 < L_1 L_2$$

oder mit Einführung eines Kopplungsfaktors k^2

$$M^2 = k^2 L_1 L_2.$$

Hierdurch besteht nun die Möglichkeit, daß der Klammerausdruck in Gl. (4) gleich Null und somit die sekundäre Spannung unendlich groß wird. Das Anwachsen der Amplitude deutet nun auf eine Resonanzwirkung zwischen der eingeleiteten und der Eigenschwingung des Systemes hin. Die Bedingung für die Resonanzwirkung schreibt sich daher

$$L_1 - \omega^2 C (L_1 L_2 - M^2) = 0,$$

oder wenn die Periodenzeit T und der Kopplungsfaktor k^2 eingeführt wird,

$$T = 2\pi \sqrt{C L_2 (1 - k^2)}. \quad \ldots \ldots \quad 6)$$

Bei vollkommen starrer Kopplung, also wenn $k^2 = 1$, liefert die Formel eine unendlich schnelle Schwingung für die Resonanz, was praktisch nicht zu erreichen ist. Bei magnetischer Lostrennung der beiden Stromkreise wird $k^2 = 0$ und geht diese Formel in die bekannte Thomson-Kirchhoffsche Formel

$$T = 2\pi \sqrt{C L_2}$$

über. Zwischen diesen beiden Grenzfällen liegt aber eine unendliche Anzahl von Kopplungsgraden und ist man sonach in der Lage, bei sehr verschiedenen Periodenzahlen und Kapazitätsbelastungen einzig durch die richtige Wahl der Kopplung Resonanz zwischen der eingeleiteten und der Eigenschwingung herzustellen. $k^2 = 0$ ist derjenige Fall, bei welchem man zur Erzielung von Resonanz mit der geringsten sekundären Selbstinduktion, also auch mit dem wenigsten Kupfer auskommt. Bei verschwindender Kopplung wird aber auch die Energieübertragung von der primären auf die sekundäre Spule geringer, weshalb sich daher auch im Zustande der Resonanz nur mäßige Sekundärspannungen ausbilden können. Der Uebergang zu vollkommen loser Kopplung gelangt mathematisch dadurch zum Ausdruck, daß in der Gl. (4) nicht nur der Klammerausdruck, sondern auch der Nenner gleich Null wird, so daß die rechte Seite der Gleichung die Form eines unbestimmten Symboles annimmt, dessen Wert nicht bestimmbar ist. Nimmt man auf die wirklichen Verhältnisse übergehend, Dämpfung durch Stromwärme und Hysteresis im Eisen und im Dielektrikum der Kapazität an, so bedarf es keines weiteren Beweises, daß bei vollkommen loser Kopplung die Sekundärspannung unendlich klein bleiben muß.

Digitized by Google

Die Grenze, bis zu welcher man mit der Kopplung herabgehen darf, ohne die freie Entwicklung der Sekundärspannung zu behindern, hängt daher wesentlich von der Stärke der Dämpfung der beiden Stromkreise ab, und ist es sohin notwendig, deren Einfluß einer besonderen Untersuchung zu unterziehen.

Die Widerstandsdämpfung ist bereits in Gl. (1) in richtiger Weise zum Ansatz gebracht. Eine Berechnung der magnetischen und dielektrischen Hysteresis läßt sich jedoch nicht durchführen und erübrigt daher nichts anderes, als diese Verluste entweder gänzlich zu vernachlässigen oder ihnen näherungsweise durch einen Zuschlag zu den Widerständen Rechnung zu tragen. Aus diesem Grunde können auch die folgenden Betrachtungen über die Dämpfung nur qualitative, aber keine quantitativen Ergebnisse bringen.

Betrachtet man das imaginäre Glied in der rechten Seite der Gl. (3), so findet sich dort der Summand $\frac{w_1}{\omega}$ mit negativem Vorzeichen, welcher nur von der Periodenzahl und dem Widerstande, nicht aber auch von dem Kopplungsgrade abhängig ist. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, daß auch bei vollkommen starrer Kopplung Resonanz eintreten kann. Setzt man ω einmal gleich 0, das andere Mal gleich ∞, so wird E_2 jedesmal gleich 0. Es muß dazwischen nun ein Wert von ω liegen, für welchen E_2 ein Maximum wird. Setzt man in Gl. (3)

$$L_1 + C\,[w_1\,w_2 - \omega^2\,(L_1\,L_2 - M^2)] = a,$$

$$\omega\,C\,(L_2\,w_1 + L_1\,w_2) - \frac{w_1}{\omega} = b,$$

so lautet die reelle Form der Gleichung

$$E_1 = \frac{E_2}{M}\sqrt{a^2 + b^2}.$$

Das Maximum von E_2 tritt dann ein, wenn $a^2 + b^2$ ein Minimum wird. Bei fester Kopplung wird a^2 unabhängig von ω und ist daher nur $\frac{d\,b^2}{d\,\omega}$ zu bilden und gleich Null zu setzen.

Es wird

$$\frac{d\,b^2}{d\,\omega} = 2\left[\omega\,C\,(L_2\,w_1 + L_1\,w_2) - \frac{w_1}{\omega}\right]\left[C\,(L_2\,w_1 + L_1\,w_2) + \frac{w_1}{\omega^2}\right] = 0.$$

Diese Gleichung ist nur dann erfüllt, wenn der erste Klammerausdruck für sich gleich Null und daher

Digitized by Google

$$\omega^2 = \frac{w_1}{C(L_2 w_1 + L_1 w_2)}$$

oder

$$T = 2\pi \sqrt{C\left(L_2 + L_1 \frac{w_2}{w_1}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7)$$

wird und geht dann die Formel, wenn der sekundäre Widerstand ein mäßiger ist, über in

$$T \sim 2\pi \sqrt{C L_2}.$$

In diesem Falle übernimmt, wie noch gezeigt werden wird, die sekundäre Spule die Magnetisierung des Eisenkernes allein und wird infolgedessen der primäre Strom und die primäre Stromwärme ein Minimum. Ist anderseits der primäre Widerstand gering, der sekundäre hingegen groß, so wird die Periodenzeit sehr lang, und da der Ladestrom der Kapazität hierdurch sinkt, auch die sekundäre Stromwärme gering.

Es ist daher das Auftreten eines Maximums der sekundären Spannung bei fester Kopplung nicht als ein Resonanzeffekt im gewöhnlichen Sinne, sondern als eine Begleiterscheinung des Minimums der Verluste zu deuten.

Die Kurve für den sekundären Spannungsverlauf ist in diesem Falle sehr flach und erhebt sich nicht über den Wert hinaus, welcher dem Uebersetzungsverhältnisse entspricht.

Das Verhalten des Induktoriums bei loser Kopplung hat eine ungleich größere Bedeutung als diese durch die Dämpfung hervorgerufene Nebenerscheinung.

Gl. (3) ist jedoch so kompliziert, daß sie die Uebersicht über den Einfluß der einzelnen Größen erschwert. Es ist daher nötig festzustellen, welche Größen gegenüber den anderen vernachlässigt werden können und in welchen Fällen dies statthaft ist. Um die analytische Behandlung abzukürzen, wählte Dr. G. Seibt ein praktisches Beispiel und stellte nach Gl. (3) in den Fig. 23 bis 25 eine Anzahl Kurven her, welche den Verlauf der sekundären Spannung veranschaulichen.

Die der Fig. 23 zu Grunde gelegten Daten sind folgende:

$$w_1 = 0{,}075,\ w_2 = 2000,\ L_1 = 0{,}1,\ L_2 = 1000,\ C = 0{,}01 \,.\, 10^{-6}.$$

Für die Fig. 24 wurden die Widerstände doppelt so groß, d. i. $w_1 = 0{,}15$ und $w_2 = 4000$, und für Fig. 25 $w_1 = 0{,}25$ und $w_2 = 7500$ angenommen.

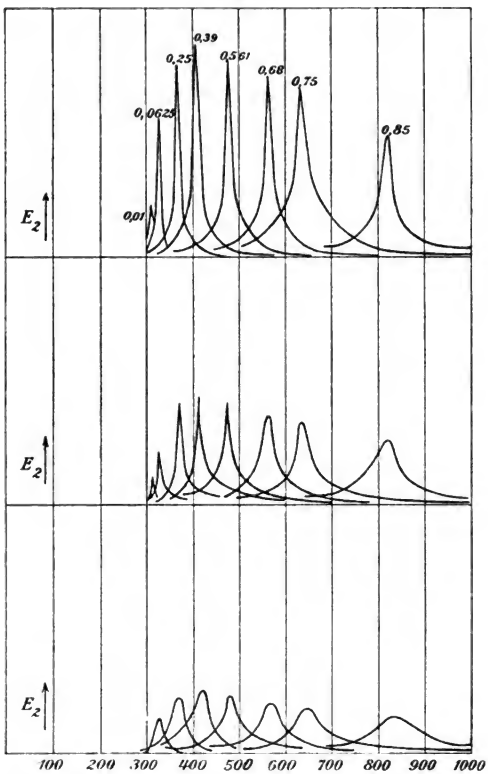
Bei der Darstellung der Kurven wurde mit größter Vorsicht vorgegangen, um jeden Fehler zu vermeiden und namentlich die Lage

Digitized by Google

und Größe des Maximums durch eine Reihe von dicht nebeneinander liegenden Punkten festgelegt.

Es zeigte sich hierbei nun, daß das Maximum jedesmal dann

Fig. 23—25.



auftrat, wenn der reelle Teil der Klammer in Gl. (3) gleich Null wurde, sohin

$$L_1 + C\,[w_1 w_2 - \omega^2 (L_1 L_2 - M^2)] = 0.$$

Digitized by Google

Da sich hierin $C w_1 w_2$ als außerordentlich kleine Größe erwies, konnte sie unbeschadet der Genauigkeit vernachlässigt werden.

Es kann sonach die Lage des Maximums in allen Fällen, in welchen die Dämpfung von der angenommenen Größenordnung ist, nach der einfachen Formel

$$L_1 - \omega^2 C (L_1 L_2 - M^2) = 0$$

oder

$$T = 2 \pi \sqrt{C L_2 (1 - k^2)}$$

berechnet werden.

Wie bei anderen Resonanzeffekten, ist auch hier die Dämpfung ohne nennenswerten Einfluß auf die Schwingungsdauer, bei welcher Resonanz eintritt.

Für die Amplitude der sekundären Spannung erweist sich bloß der imaginäre Teil der Gl. (3) als maßgebend und wird daher

$$E_2 = \frac{M E_1}{\omega C (L_2 w_1 + L_1 w_2) - \frac{w_1}{\omega}}.$$

Sowohl hieraus als auch aus einem Vergleiche der Kurvenscharen zeigt sich der entscheidende Einfluß der Dämpfung auf die Amplitude. Bei Verdopplung der Widerstände (Fig. 24) sinken die Amplituden auf die Hälfte und der Anstieg der Kurven wird erheblich flacher.

Der Einfluß der Kopplung zeigt sich nach drei Richtungen, und zwar ist die Schwingungsdauer, bei welcher Resonanz eintritt, in hohem Maße von der Kopplung abhängig und wird zweitens die Resonanz umso schärfer, je loser die Kopplung ist, und ändern sich drittens die Scheitelwerte der Kurven mit Aenderung der Kopplung.

In den zwei letzten Punkten ist die Verschiedenheit des Charakters der Kurven nicht bloß auf den Kopplungsgrad, sondern auch auf die mit demselben im Zusammenhange stehende verschiedenartige Wirkung der Dämpfung zurückzuführen. So ist bei sehr loser Kopplung der primäre Widerstand ohne Belang und kommt für die Schärfe der Resonanz bloß der sekundäre Widerstand und für die Größe der Spannung außerdem noch die in der sekundären Spule induzierte E. M. K. in Betracht. Bei festerer Kopplung wird die induzierte E. M. K. zwar größer, es wächst aber, da zur Herstellung der Resonanz eine höhere Periodenzahl erforderlich ist und die Stromstärken damit steigen, auch der Einfluß der Dämpfung sehr stark, so daß auch hier die Amplitude nur von mäßiger Größe sein kann.

Zwischen den beiden Grenzfällen liegt ein mittlerer Kopplungsgrad, für welchen die Amplitude ihren höchsten Wert erreicht.

Digitized by Google

In den dargestellten Kurvenscharen liegt die günstigste Kopplung zwischen $k^2 = 0{,}39$ und $0{,}561$.

Setzt man zwecks genauerer Berechnung in die vorstehende Gleichung

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}$$

und

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C L_2 (1 - k^2)}},$$

so erhält man

$$E_2 = \frac{k E_1 \sqrt{L_1 L_2} \sqrt{C L_2 (1 - k^2)}}{C (L_2 w_1 + L_1 w_2) - w_1 C L_2 (1 - k^2)}.$$

Der größte Wert von E_2 ergibt sich nun, wenn $\frac{d E_2}{d k} = 0$, und erhält man nach Durchführung der Differentiation für die günstigste Kopplung die einfache Beziehung

$$k^2 = \frac{L_1 w_2}{L_2 w_1 + 2 L_1 w_2}$$

und ist hiernach der günstigste Wert von k^2 gleich oder kleiner als 1/2. Die Abweichung von 1/2 ist umso größer, je größer der primäre und je kleiner der sekundäre Widerstand ist.

Für das gewählte Beispiel ist $k^2 = 0{,}421$.

Für den Entwurf von Resonanzinduktoren kann als Anhaltspunkt dienen, daß $k^2 = 1/2$ wird, wenn man die Selbstinduktion des Generators einschließlich der Ankerrückwirkung gleich der primären Selbstinduktion des Induktors macht.

Die Dämpfung durch die Hysteresis in den Kondensatoren wirkt wie eine Vergrößerung des sekundären Widerstandes, die Verluste im Eisen verteilen sich aber auf beide Kreise und wird man daher mit $k^2 = 1/2$, auf dessen genaue Einhaltung es übrigens nicht ankommt, annähernd den günstigsten Wert treffen.

Es bleibt nunmehr, um eine genauere Kenntnis von den Vorgängen im Induktorium zu erhalten, noch die Untersuchung der primären Stromaufnahme übrig.

Man erhält nun aus Gl. (2) nach Eliminierung von E_2 und I_2 und einigen Umformungen

$$\left(E_1 + I_1 \right) w_1 + \frac{\omega^4 M^2 C^2 w_2}{(1 - \omega^2 C L_2)^2 + \omega^2 C^2 w_2^2}$$

$$+ i \omega \frac{(1 - \omega^2 C L_2)[L_1 - \omega^2 C (L_1 L_2 - M^2)] + \omega^2 C^2 w_2^2 L_1}{(1 - \omega^2 C L_2)^2 + \omega^2 C^2 w_2^2} \Big) = 0, \quad 8)$$

Digitized by Google

und wenn man die Widerstände vernachlässigt,

$$E_1 + I_1 i \omega \frac{L_1 - \omega^2 C(L_1 L_2 - M^2)}{1 - \omega^2 C L_2} = 0. \quad . \quad . \quad . \quad 9)$$

Die Betrachtung zweier charakteristischer Spezialfälle genügt, um einen Einblick darüber zu erhalten, innerhalb welcher weiter Grenzen sich die Stromstärke in Bezug auf Größe und Phase zu ändern vermag.

1. Fall: Die Bedingung für die Spannungsresonanz sei erfüllt, d. h.

$$L_1 - \omega^2 C(L_1 L_2 - M^2) = 0$$

oder

$$T = 2\pi \sqrt{C L_2 (1 - k^2)}.$$

In diesem Falle liefert die Gl. (9) einen unendlich großen Wert für die primäre Stromstärke. Dies ist leicht erklärlich, da sich für diesen Fall auch eine unendlich große Sekundärspannung ergeben hatte. Es muß daher der unendlich großen magnetisierenden Rückwirkung der sekundären Spule eine ebenso große Stromstärke entgegenwirken, damit sich das zur Ausbalancierung der primären Spannung erforderliche Kraftfeld einstellen kann.

Anderweits [1]) wurde bereits festgestellt, daß bei Wegfall der Dämpfung die Phase der primären Stromstärke labil ist und die geringste Aenderung der Periodenzahl oder der Kapazität genügt, um dem Ausdruck

$$L_1 - \omega^2 C(L_1 L_2 - M^2)$$

das Vorzeichen + oder — zu geben und die Phase zum Umschlagen zu bringen. Bei niedriger Periodenzahl oder Kapazität hinkt der Strom der Spannung gegenüber um 90° nach und eilt bei hoher Periodenzahl oder Kapazität um 90° vor. Würde man sich den sekundären Stromkreis einen Augenblick fortdenken, so erhielte man für den primären Strom den Wert

$$J = \frac{E}{\omega L}.$$

Das Hinzukommen der sekundären Spule wirkt demnach bei Resonanz gleichsam wie ein Kurzschluß der primären Wicklung und ist die primäre Selbstinduktion scheinbar auf Null gesunken oder hat einer unendlich großen Kapazität Platz gemacht.

Bei diesen Betrachtungen wurde vorausgesetzt, daß beide Strom-

[1]) Ph. Z. 1903, S. 817.

Digitized by Google

kreise ungedämpft sind. Will man der Dämpfung Rechnung tragen, so kommt die Gl. (8) in Betracht. Im Falle der Spannungsresonanz wird der imaginäre Teil der Klammer sehr klein und kann zu Null gemacht werden, indem man eine geringe Verschiebung der Periodenzahl vornimmt. Gl. (8) wird dann

$$E_1 + I_1 \left\{ w_1 + \frac{\omega^4 M^2 C^2 w_2}{(1 - \omega^2 C L_2) + \omega^2 C^2 w_2^2} \right\} = 0. \quad . \quad . \quad 10)$$

Die vorher gewonnenen Ergebnisse ändern sich nun bei Berücksichtigung der Verluste wie folgt: Der primäre Strom ist ein reiner Arbeitsstrom und ist nicht mehr unendlich groß, sondern nimmt einen sehr großen endlichen Wert an. Die Phase des Stromes reagiert zwar noch sehr stark auf Aenderungen der Periodenzahl, wechselt aber nicht mehr sprungweise die Vorzeichen wie früher bei Vernachlässigung der Dämpfung. Die primäre Spule verhält sich elektrisch nicht mehr wie eine sehr kleine Selbstinduktion oder eine unendliche Kapazität, sondern wie ein endlicher Ohmscher Widerstand. Bei einem sekundären Widerstande gleich Null würde sich der primäre Strom so einstellen, als wenn man es mit einem Gleichstrom zu tun hätte.

Dieser Fall kennzeichnet sich durch die Bedingung

$$1 - \omega^2 C L_2 = 0$$

oder

$$T = 2\pi \sqrt{C L_2}.$$

Die Gl. (9) liefert in diesem Falle für I_1, wie stark auch die Kopplung sein mag, immer den Wert Null und wird die Phase von I_1 wieder labil. Die Rückwirkung der sekundären Spule wird so kräftig, daß sie den Durchgang des Stromes in der primären Spule vollkommen versperrt. Es verhält sich daher die Primärspule in elektrischer Beziehung wie eine unendlich große Selbstinduktion oder eine unendlich kleine Kapazität.

Um auch hier die Verluste zu berücksichtigen, ist es erforderlich, auf Gl. (8) zurückzugreifen. Für

$$1 - \omega^2 C L_2 = 0$$

wird in dieser Gleichung der Zähler des imaginären Teiles sehr klein und völlig zu Null, wenn wieder eine kleine Verschiebung der Periodenzahl vorgenommen wird. In letzterem Falle wird

$$E_1 + I_1 \left\{ w_1 + \frac{\omega^4 M^2 C^2 w_2}{(1 - \omega^2 C L_2)^2 + \omega^2 C^2 w_2^2} \right\} = 0,$$

und da

Digitized by Google

$$1 - \omega^2 C L_2$$

eine sehr kleine Größe ist, mit großer Annäherung

$$E_1 + I_1 \left(w_1 + \frac{\omega^2 M^2}{w_2} \right) = 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 11)$$

Der Strom besteht jetzt nur aus einer Wattkomponente, die aber sehr klein ist und gleich Null wäre, wenn der sekundäre Stromkreis ungedämpft bliebe. Physikalisch ist der Vorgang wie folgt zu erklären:

Die von der Maschine erzeugte Wechselzahl ist in Resonanz mit der Eigenschwingung des Sekundärkreises. Denkt man sie durch irgend eine Ursache erregt, so werden die Amplituden mit der Zeit schwächer und schwächer werden, bis die dem Systeme durch den äußeren Anstoß zugeführte Energie durch die Arbeitsleistung der Dämpfung verbraucht ist. In Wirklichkeit wird aber von der primären Seite aus Energie in solchem Maße nachgeliefert, daß die Verluste gerade gedeckt werden. Der Strom in der primären Spule nimmt unter diesen Umständen keinen Anteil an der Magnetisierung des Eisens, er ist ein reiner Wattstrom, dessen Aufgabe nur darin besteht, den sekundären Schwingungsvorgang aufrecht zu erhalten.

Dieser Vorgang läßt sich als Strom- oder magnetische Resonanz bezeichnen. Die Spannung ermittelt sich für diesen Fall aus Gl. (4), welche für

$$1 - \omega^2 C L_2 = 0,$$

$$E_1 = E_2 \omega^2 C M$$

oder

$$E_1 = E_2 \omega^2 C k \sqrt{L_1 L_2}$$

oder

$$E_1 = E_2 k \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

ergibt. Bei Leerlauf also für $C = 0$ erhält man aus Gl. (4)

$$E_1 = E_2 \frac{1}{k} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

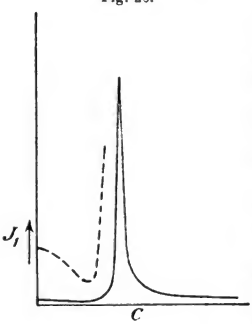
Die Sekundärspannung beträgt sonach bei Stromresonanz das $\frac{1}{k^2}$ fache der Leerlaufspannung und ist, da $k^2 \leq 1$ ist, meist größer als diese. Der Grund hierfür liegt darin, daß die sekundäre Spule allein das Kraftfeld erzeugt und die primäre Spule gleichsam leer mitläuft. Die beiden Spulen vertauschen sonach ihre Rollen und die Sekundärspannung muß daher, sowie sie bei Leerlauf nur das k fache

Digitized by Google

der Uebersetzungsverhältnisse betrug, jetzt um das $\frac{1}{k}$ fache größer sein.

Die Stromresonanz ist dann von praktischer Bedeutung, wenn das Induktorium an eine Zentrale angeschlossen ist und zur Herabdrosselung der Spannung oder zu Regulierzwecken Widerstände in den primären Stromkreis eingebaut werden. Die Spannungsresonanz liegt dann wegen der festen Kopplung bei einer sehr hohen Kapazitätsbelastung und wird infolge der starken Dämpfung verwischt. Beim Ausproben der günstigsten Verhältnisse gelangt man daher von selbst in die Nähe der Stromresonanz, bei welcher wegen der geringen Stromstärke im primären Kreise der Einfluß der Dämpfung ein Minimum wird.

Fig. 26.



Der Fall der Stromresonanz hat mit dem früher behandelten Falle der Spannungsresonanz unter Berücksichtigung der Dämpfung eine gewisse Aehnlichkeit und geht für $k^2 = 1$ in diesen über.

Um ein Gesamtbild über den Verlauf der Stromstärke zu geben, dient der Kurvenzug (Fig. 26), welcher diesen Verlauf in seiner Abhängigkeit von der Kapazitätsbelastung veranschaulicht, wobei der erste Teil der Kurve, um deren Verlauf deutlicher hervorzuheben, in 20facher Vergrößerung als gestrichelte Linie gesondert aufgetragen ist. Der Kopplungsfaktor ist $k^2 = 0{,}38$ und die Periodenzahl zu 50 angenommen, im übrigen sind aber die gleichen Daten wie für die Konstruktion der Fig. 23 benutzt worden.

Im unbelasteten Zustande ist der Strom

$$J_1 = \frac{E_1}{\sqrt{w_1^2 + \omega^2 L_1^2}}$$

und der Phasenwinkel entsprechend der Nacheilung des Stromes gegen die Spannung negativ. Mit zunehmender Kapazität nimmt der primäre Strom ab und erreicht für

$$T = 2\pi \sqrt{C L_2}$$

ein Minimum und verwandelt sich gleichzeitig in einen reinen Arbeitsstrom. Bei Steigerung der Kapazität über die Stromresonanz hinaus kommt zu der Wattkomponente noch eine um 90° voreilende

Digitized by Google

wattlose Komponente. Die Amplitude wächst außerordentlich stark an, bis sie in der Nähe der Spannungsresonanz

$$T = 2\pi \sqrt{C L_2 (1 - k^2)}$$

ihr Maximum erreicht. Die wattlose Komponente sinkt in rascher Abnahme auf Null herab und macht einer reinen Wattkomponente Platz. Bei weiterer Steigerung der Kapazität sinkt die Stromstärke wieder sehr schnell, wechselt ihre Phase und nähert sich für $C = \infty$ asymptotisch einem Grenzwert, welcher dem Kurzschluß der Sekundärspule entspricht, da eine unendliche Kapazität bei Wechselstrom einer metallischen Ueberbrückung gleicht.

Sieht man behufs Ermittlung des Grenzwertes von dem Einflusse der Widerstände ab, so liefert Gl. (9) für $C = \infty$ zunächst ein unbestimmtes Symbol. Differenziert man Zähler und Nenner, so erhält man

$$E_1 + I_1 i \omega \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_2} = 0$$

oder in reeller Schreibweise

$$J_1 = E_1 \frac{L_2}{\omega (L_1 L_2 - M^2)}$$

oder auch

$$J_1 = E_1 \frac{1}{\omega L_1 (1 - k^2)}.$$

Im Betriebe hängt das Verhalten der Anordnung davon ab, ob man mit fester oder loser Kopplung in der Nähe der Spannungsresonanz arbeitet oder nicht. Bei Spannungsresonanz und loser Kopplung wird, wenn weiter angenommen ist, daß gerade eine Kondensatorentladung vorüber ist, ehe der nächste Funken einsetzen kann, die Sekundärspannung erst durch mehrere Impulse von der primären Seite auf die alte Höhe gebracht werden müssen. Man hat es sonach hier nicht mit dem der Theorie zu Grunde gelegten Beharrungsvermögen zu tun, sondern mit einem durch die Fig. 26 dargestellten zeitlichem Verlaufe. Die sekundäre Spannung verdankt ihre Höhe nicht einer zwangsweisen Verkettung, sondern einer Resonanzwirkung oder einer allmählichen Ansammlung von Schwingungsenergie, so daß das Induktorium nicht den geringsten Kurzschlußstrom durchzulassen vermag, wodurch der Funke „aktiv“ werden muß. Es läßt sich aus dem gleichen Grunde die Zahl der Funken durch kürzeres oder längeres Einstellen der Funkenstrecke oder durch Regulierung der primären Erregung innerhalb sehr weiter Grenzen ändern. Gelangt

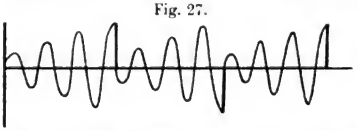
Digitized by Google

sonach in der Empfangsstation als Wellenanzeiger ein Fritter zur Anwendung, von dem sich annehmen läßt, daß er auf Spannungsstöße anspricht, so ist es von Vorteil, die Zahl der Funken in der Sendestation nicht größer zu nehmen, als gerade notwendig ist, um Punkte und Striche herstellen zu lassen, wodurch man an Energie spart und die Sendeapparate schont.

Als interessante Folgerung ergibt sich, daß der primäre Strom beim Einsetzen des Funkens notwendigerweise fallen muß, so daß nicht nur die sekundäre Spannung, sondern auch der primäre und sekundäre Strom einen der Fig. 27 ähnlichen Verlauf nehmen wird.

Der primäre Strom hat die Aufgabe, nach erfolgter Entladung der Kondensatoren, den alten Schwingungszustand wieder herzustellen.

Fig. 27.



Er wird, weil er schon im Beharrungszustande nur aus einer Wattkomponente besteht, auch während der Zeit des Speisens des Induktoriums mit Schwingungsenergie ein reiner Nutzstrom sein und muß daher die Anordnung mit dem denkbar besten Wirkungsgrade arbeiten.

Bei Benutzung fester Kopplung oder bei größerer Entfernung von der Spannungsresonanz ändern sich jedoch die Verhältnisse. Wenn hier der Funke einsetzt, folgt ihm eine ununterbrochene Schar von Funken nach, der primäre Strom steigt und es bildet sich, wenn der Thomsonsche Kreis viel Selbstinduktion enthält, leicht ein Lichtbogen. Um diese Uebelstände abzuschwächen, werden Widerstände vorgeschaltet und die Anordnung auf Stromresonanz, also auf die Gleichung

$$T = 2\pi \sqrt{CL_2}$$

eingestellt. In diesem Falle weist die sekundäre Spannung auch bei starrer Kopplung ein Maximum auf. Ein größerer Lichtbogen kann nicht entstehen, weil die primäre Spannung in der funkenlosen Zeit weniger abgedrosselt wird, als während des Funkens. Die Widerstände wirken hier ähnlich wie die Beruhigungswiderstände bei den Bogenlampen, sind aber dennoch nichts anderes als ein Notbehelf, weil sie erst dann in Tätigkeit treten, wenn die zu vermeidende Erscheinung sich einzustellen beginnt.

Wird das Induktorium an Stelle von Wechselstrom mit unterbrochenem Gleichstrome gespeist, so erweist es sich aus einer Reihe

Digitized by Google

von Erwägungen für zweckmäßig, die Schließungszeit des primären Stromes möglichst abzukürzen und lieber mit geringer primärer Selbstinduktion zu arbeiten. Man darf indessen damit nicht zu weit gehen, da wenn der Impuls während des Oeffnens des Stromes sehr dicht auf jenen während der Schließungszeit folgt, beide einander entgegenwirken, wenn die sekundäre Strömung ihre Vorzeichen inzwischen nicht geändert hat. Wie weit man mit der Schließungszeit herabgehen kann, wird am besten durch den Versuch ermittelt.

Ein solches mit abgehaktem Gleichstrom betriebenes Induktorium stellt während der Oeffnungszeit ein schwingungsfähiges, der Resonanz zugängliches System dar, dessen Eigenperiode durch die Gleichung

$$T = 2\pi \sqrt{C_2 L_2}$$

ausgedrückt ist.

Während der Schließungszeit sind die Eigenschwingungen jedoch außerordentlich schnell und ist daher Resonanz mit denselben zu erreichen praktisch unmöglich. Es läßt sich aber das Tempo so wählen, daß die Verluste ein Minimum werden und ergibt die Bedingungen hierfür die Gleichung (7)

$$T = 2\pi \sqrt{C_2 \left(L_2 + L_1 \frac{w_2}{w_1} \right)}.$$

Da man nun bei Verwendung von Gleichstrom niemals ohne Vorschaltwiderstand arbeitet, wird der Ausdruck $L_1 \frac{w_2}{w_1}$ unter dem Wurzelzeichen im Verhältnis zu dem ersten Ausdrucke klein, so daß die Bedingungen für das beste Arbeiten während der Oeffnungs- und Schließungszeit zusammenfallen. Liegt ein Kondensator parallel mit dem Unterbrecher, so ändert dies das Ergebnis der Betrachtungen nur wenig. Bei offenem primärem Kreise ist dann die Eigenschwingung des Systems nach der Formel

$$T = 2\pi \sqrt{C_1 L_1 + C_2 L_2}$$

statt nach der Formel

$$T = 2\pi \sqrt{C_2 L_2}$$

zu berechnen. Setzt man nun in diese Formel die Werte des auf S. 35 gegebenen Beispiels ein und nimmt man für $C_1 = 0{,}5$ Mikrofarad an, so erhält man

$$T = 19{,}96 \cdot 10^{-3}$$

statt wie nach der zweiten Formel

Digitized by Google

$$T = 19{,}86 \,.\, 10^{-3},$$

also nicht mehr wie eine Abweichung von rund ½ %.

Die Anordnung stellt demnach in ihrer Gesamtheit bei Benutzung von ununterbrochenem Gleichstrom ein halb fest, halb lose gekoppeltes System dar. Es tritt durch die zeitlich lose Kopplung allerdings ein ziemlich ausgesprochenes Spannungsmaximum auf, aber da beim Einsetzen des Funkens der primäre Strom wegen der festen Kopplung zur Zeit des Stromschlusses ansteigt, gelingt die Beseitigung des Lichtbogens nicht mit jener Leichtigkeit wie bei Speisung der Primären mit Wechselstrom.

Es erweist sich demnach der Betrieb mit Wechselstrom in elektrischer Hinsicht viel günstiger als jener mit unterbrochenem Gleichstrom. Aber auch aus Gründen der Betriebssicherheit ist dem Wechselstrom der Vorzug vor dem Gleichstrom zu geben, da die Stromunterbrecher vielen Anlaß zu Störungen geben und großer Abnutzung unterworfen sind, während die wellentelegraphische Praxis absolute Betriebssicherheit, geringe Wartung und wenig Reparaturen sowie Einfachheit der Bedienung erfordert. Für größere Leistungen sind Gleichstromunterbrecher im vornhinein ausgeschlossen, aber selbst für mittlere Leistungen von etwa 5000 cm Kapazität werden diese Unterbrecher dort, wo kein Wechselstrom zur Verfügung steht, besser durch kleine Gleichstrom-Wechselstromumformer ersetzt, während nur für ganz kleine Leistungen der Wagnersche Hammerunterbrecher noch am Platze sein dürfte.

Für die Konstruktion und Berechnung der Resonanzinduktoren gelten zwar dieselben Gesetze wie für den allgemeinen Transformatoren- und Induktorenbau, doch kommt noch die neue Forderung hinzu, daß die Resonanzbedingung erfüllt wird.

Die Selbstinduktion der Röntgeninduktoren und Hochspannungstransformatoren war zumeist zu hoch bemessen und dies die Ursache, daß die Resonanz der langsamen Schwingungen übersehen wurde. So ist ein Röntgeninduktor von 40 cm Schlagweite bei Gleichstrombetrieb und Belastung mit einer einzigen Flasche von 2000 cm Kapazität schon bei 50 Unterbrechungen in der Sekunde in Resonanz. Zur Ladung einer solchen Kapazität reicht aber schon ein kleiner Induktor mit Hammerunterbrecher aus, so daß man früher die Resonanzwirkung, welche ein größeres Induktorium zur Voraussetzung hat, gar nicht in Betracht gezogen hat.

Jetzt aber, wo die Gesetze für die Resonanz bekannt sind, wird

Digitized by Google

man nur mehr Resonanzinduktoren bauen, weil mit diesen bei geringstem Energieaufwande die größte Wirkung zu erzielen ist.

Die im vorstehenden auszugsweise wiedergegebene Arbeit des Herrn Dr. Georg Seibt gab Veranlassung zu einer unerquicklichen Kontroverse[1]) zwischen Vertretern der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie und dem genannten Herrn, aus welcher nur hervorgehoben werden soll, daß diese Gesellschaft schon zur Zeit der Veröffentlichung Resonanzinduktorien auf Grund eigener eingehender Versuche baute und die gegen Herrn Dr. Seibt erhobenen Vorwürfe und persönlichen Einwendungen bezüglich der erworbenen Patente, seitens unparteiischer Fachmänner, nach einer kontradiktorischen Verhandlung, geprüft und als unberechtigt befunden wurden.

Die Demonstration elektrischer Drahtwellen für ein größeres Auditorium[2]). Die Herren K. Schaum und H. Schulze verwenden zu diesem Zwecke ein Lechersches Schwingungssystem, für welches nach W. Coolidge sehr dünne Drähte von 0,1 mm Durchmesser benutzt werden. In einem solchen System findet an den Stellen der Bäuche der elektrischen Kraft ein Aufleuchten statt. Um dieses Aufleuchten einem größeren Auditorium zu zeigen, werden fluoreszierende Substanzen wie Chininsulfat, Bariumplatincyanür, Uranglas etc. benutzt.

Es ist nichts weiter nötig als einen mit Bariumplatincyanür bestrichenen Pappstreifen längs der parallelen Drähte zu führen. An den Bäuchen der elektrischen Kraft leuchtet dieser Streifen sodann deutlich auf. Die beiden verwendeten Paralleldrähte sind hierbei besser statt nebeneinander übereinander anzuordnen.

Mit solchen dünnen Drähten läßt sich ebenso die entladende Wirkung auf ein Elektroskop, das Dampfstrahlphänomen, oder die erhöhte Kondensation des Dampfstrahles sowie die Ozonbildung an den Stellen der Bäuche der elektrischen Kraft nachweisen. Die Wellenlänge soll jedoch bei diesen Versuchen nicht unter 80 cm herabgehen.

Untersuchung und objektive Darstellung von Flaschenbatterie und Induktionsströmen, sowie der Ladungs- und Entladungsströme von Kondensatoren[3]). Für die objektive Darstellung und photographische Aufnahme von Entladungskurven benutzte Franz Wittmann nach dem Blondel-Duddellschen Prinzipe hergestellte Oszillographen. Bei diesen Instrumenten be-

[1]) E. T. Z. 1904, S. 394, 494, 641 und 708.
[2]) A. d. Ph. 1904, S. 422.
[3]) A. d. Ph., Bd. 12, 1903, S. 373 und 805.

Digitized by Google

findet sich im unbeweglichen Felde eines starken Elektromagneten eine Schleife aus sehr dünnem Metallband, von sehr geringem Trägheitsmomente.

Die Wechselwirkung des die Schleife durchfließenden Entladungsstromes und des Magnetfeldes tordiert die Schleife und dreht sohin das auf die Mitte der Schleife geklebte Spiegelchen. Ein von einer Bogenlampe stammendes Lichtbündel wird auf das Spiegelchen und von diesem auf einen rotierenden Spiegel geworfen. Das von letzterem ausgehende konvergente Strahlenbündel fällt je nach dem Zwecke auf einen Schirm oder eine photographische Platte.

In der schematisch dargestellten Versuchsanordnung (Fig. 28) erscheint in den Schließungskreis der Flaschenbatterie C die Schleife Q

Fig. 28.

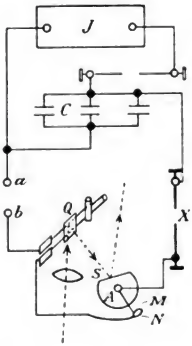


Fig. 29.

Fig. 30.

des Oszillographen, eine mit dem Drehspiegel A verbundene Entladungsvorrichtung MN und eine kleine Funkenstrecke X eingeschaltet. ab sind zwei Klemmen, zwischen welche ein Widerstand mit oder ohne Selbstinduktion, dessen Einfluß auf die Entladungserscheinung untersucht werden soll, festgeklemmt wird.

Der von dem rotierenden Spiegel reflektierte Lichtstrahl zeichnet den zeitlichen Verlauf des Entladungsstromes auf dem Schirme oder der photographischen Platte auf.

Die Fig. 29—31 zeigen den zeitlichen Verlauf des Entladungsstromes unter Einschaltung eines Widerstandes, dessen Selbstinduktion von seinem ursprünglichen Werte vorerst auf $^1/_4$, sodann auf $^1/_6$ herab-

Digitized by Google

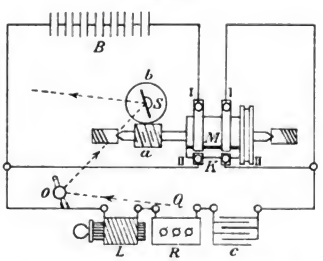
gemindert wurde. Die aus diesen photographischen Aufnahmen bestimmte Schwingungsdauer der oszillatorischen Entladung stimmte in allen drei Fällen mit der nach der Thomsonschen Formel berechneten gut überein.

Die oszillographische Methode erweist sich nun auch zur Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Ladungs- und Entladungsströme

Fig. 31.

von Kondensatoren geeignet. Hierfür kommt die Anordnung Fig. 32 zur Anwendung. Die aus 5—15 Akkumulatoren bestehende Stromquelle B ladet während der kurzen Zeit, in welcher die Kontaktfedern II den schmalen Metallstreifen M des rotierenden Kontaktzylinders K berühren, den Kondensator C und der Ladestrom durchfließt die Schleife des Oszillographen O, die Spirale L von veränderlicher Selbstinduktion und den gleichfalls veränderlichen Ohmschen Wider-

Fig. 32.



stand R. Gelangt später der Metallstreifen M mit den Entladekontakten II, II in Berührung, so entladet sich der Kondensator über O, L und R. Der um eine horizontale Achse drehbare Kontaktzylinder K veranlaßt die Drehung des Spiegels um eine lotrechte Achse. Der von Q kommende Lichtstrahl verzeichnet auf einem Schirm den zeitlichen Verlauf des Lade- sowie des Entladestromes und können

Digitized by Google

hierbei die Ordinaten der Kurve leicht über $^1/_2$ m groß erzeugt und sohin die Kurven selbst für die größte Zuschauermenge gut sichtbar gemacht werden.

An Stelle des drehenden Planspiegels läßt sich mit Vorteil auch ein drehender Polygonalspiegel oder ein Planspiegel verwenden, dem

Fig. 33.

eine auf den Kontaktzylinder aufgesetzte Metallhülse durch ihren schraubenförmigen Gang eine hin- und hergehende Bewegung erteilt.

Die auf photographischem Wege gewonnenen Kurvenbilder stellen sich sehr schön dar und zeigt Fig. 33 in einem einzigen Kurvenzuge eine kontinuierliche Ladung und Entladung eines Kondensators. Die

Fig. 34.

Entladung war in diesem Falle kontinuierlich, weil nach den Thomsonschen Berechnungen im Kondensatorkreis $R^2 > 2\,L/C$ war. Ein Beispiel einer kontinuierlichen Ladung und oszillatorischen Entladung zeigt Fig. 34, bei welchen $R^2 < 4\,L/C$ diese bedingte.

Mit dieser Vorrichtung läßt sich auch der stetige Uebergang der kontinuierlichen Ladungs- und Entladungserscheinung in die oszillatorische durch geeignete Wahl von C, L und R schön vor Augen führen.

C. Physikalische Untersuchungen über verschiedene Erscheinungen der drahtlosen Telegraphie.

Neuere Methoden zur Vergrößerung der Senderenergie für Zwecke der Wellentelegraphie[1]) von Professor Ferdinand

[1]) Ph. Z. 5, S. 194.

Digitized by Google

Braun in Straßburg. Schon im Jahre 1898 wurde von Braun eine Reihe von Senderanordnungen für drahtlose Telegraphie angegeben, die zu den wichtigsten Grundlagen für die Weiterentwicklung der drahtlosen Telegraphie wurden. Bei diesen Anordnungen, welche als gekoppelte Systeme bezeichnet werden, wird die offene Strombahn des eigentlichen Wellenstrahlers nicht wie bei der ursprünglichen Marconischaltung direkt erregt, sondern mit einem Schwingungskreis in Verbindung gebracht, welcher Kapazität und Selbstinduktion enthält und als Energiereservoir für den Wellenstrahler dient. Für diese Art die Energie auf den Wellenstrahler zu übertragen (Kopplung),

Fig. 35.

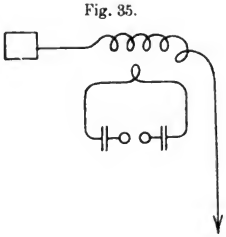
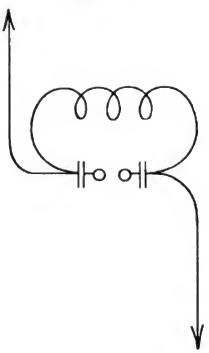


Fig. 36.



wurden drei verschiedene Formen angegeben und zwar 1. die als induktive Erregung bezeichnete (Fig. 35), 2. die sog. direkte Schaltung (Fig. 36) und endlich 3. die Kombination beider Schaltungen, die verschiedene Ausführungsformen zuläßt (Fig. 37—39). Alle diese drei Anordnungen erweisen sich prinzipiell von gleicher Wirkung und unterscheiden sich nur durch die Beweglichkeit, welche sie in der Wahl des Kopplungsgrades lassen.

In der Praxis ist man jedoch an gewisse Zahlen für die Eigenschwingung des Schwingungskreises gebunden. Die Zahl der Eigenschwingungen soll nun bei gegebenem Sender möglichst konstant bleiben, es muß also das Produkt aus der Kapazität C in die Selbstinduktion L des Schwingungskreises dieser Bedingung genügen.

Die für die Ausstrahlung zur Verfügung stehende Energie ist

Digitized by Google

$1/2\ CV^2$, wenn V das Potential bedeutet, auf welches die Flaschen geladen werden. Um diese Ausstrahlungsenergie zu vergrößern, sind nun theoretisch zwei Möglichkeiten vorhanden, und zwar 1. Vergrößerung der Kapazität und 2. Erhöhung der Ladespannung.

Die Vergrößerung der Kapazität C zwingt nun der Voraussetzung gemäß, wonach die Zahl der Eigenschwingung die gleiche bleiben soll, zur gleichzeitigen Verringerung der Selbstinduktion L. Der Kopplungsgrad τ zwischen Schwingungs- und Strahlkreis bestimmt sich nun aus

$$L^2{}_m = \tau^2 L \,.\, L_1,$$

wobei L die Selbstinduktion des Schwingungskreises, L_1 die des Strahlkreises und L_m den gegenseitigen Induktionskoeffizienten beider

Fig. 37.

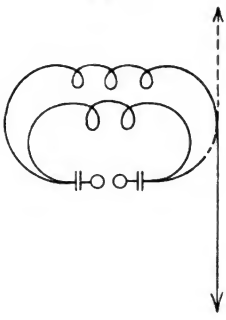
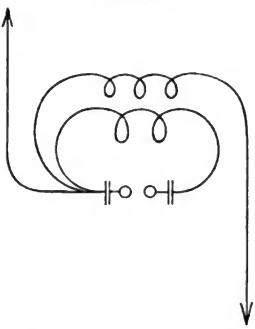


Fig. 38.



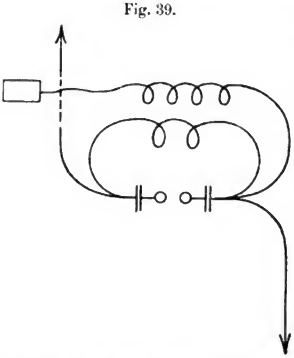
Kreise bedeutet. Diese allerdings nicht ganz präzise Formel läßt sich nun für die Beurteilung annähernd benutzen. Der Kopplungskoeffizient τ soll nicht unter einen gewissen Wert herabgehen, da von ihm die Amplitudenvergrößerung des Potentiales abhängt. Wird nun angenommen, wie dies bei der günstigsten direkten Schaltung der Fall ist, daß $L_m = L$ sei, so wird $L = \tau^2 L_1$. Nun wird aber L_1 im wesentlichen durch die Gesamtlänge des Strahlkreises bestimmt und ergibt sich hieraus, daß die Kopplung des ganzen Systemes mit abnehmender Selbstinduktion des Schwingungskreises abnimmt, sohin die Kapazität der Kondensatoren nicht beliebig vergrößert werden darf.

Digitized by Google

Diesem theoretischen Grunde gesellt sich noch der praktische hinzu, daß die Kapazität der Kondensatoren nicht vergrößert werden kann, ohne gleichzeitig durch die Belegungen der Kondensatoren und die unvermeidlichen Verbindungsleitungen Selbstinduktion in die Kondensatoren selbst hinein zu bringen. Diese zerstreute Selbstinduktion kann für die Energieübertragung des Senders nicht ausgenutzt werden und wirkt hier wie der innere Widerstand eines galvanischen Elementes für dessen Stromausnutzung. Man erreicht sonach hier wie dort bald eine Grenze, bei welcher z. B. das Parallelschalten vieler kleiner Elemente nicht weiter führt.

Um also die für die Ausstrahlung zur Verfügung stehende Energie zu vergrößern, bleibt nur mehr übrig, die Ladespannung zu vergrößern.

Fig. 39.



Selbst wenn technische Schwierigkeiten zur Erzeugung hinreichender Elektrizitätsmengen von beliebiger Spannung nicht vorhanden wären, so würden sich doch Schwierigkeiten in Bezug auf die Isolation sowohl im Innern wie an der Oberfläche ergeben, indem das Dielektrikum entweder am Rande von den Funken überschlagen oder bei vollkommener Oberflächenisolation durch Einbetten in flüssige Isolatoren sehr leicht durchgeschlagen wird.

Bei Vermeidung dieser Umstände kommt wieder die große „innere Selbstinduktion" der Kondensatoren zur Geltung. Bei vergrößerter Ladespannung kann man aber auch die hierdurch bedingte vergrößerte Funkenlänge nicht immer nützlich verwerten. Die Spannungen scheinen bei großen Kapazitäten nicht immer der Schlagweite entsprechend zu wachsen und ist somit auch hier eine praktische Grenze gezogen.

Dem Bestreben Brauns, eine Methode zu finden, die es gestattet, die für die Ausstrahlung zur Verfügung stehende Energie unter Beibehaltung der Oekonomie eines einzelnen Flaschenkreises und ohne Aenderung der Schwingungszahl zu vergrößern, dankten die beiden nachstehenden Schaltungen (Fig. 40 und 41) schon im Jahre 1898 ihre Entstehung. Bei diesen sind eine Anzahl Kondensatorkreise von

Digitized by Google

genau gleicher Schwingungszahl so hintereinander verbunden, daß der Sender durch alle diese Kreise hindurchläuft. Die Kondensatoren wurden hierbei in Serie geladen. Die Energie von n solcher Kapazitäten C ist

$$\frac{1}{2}\left(\frac{C}{n}\right)(n\,V)^2 = \frac{1}{2}\,n\,C\,V^2.$$

Jeder einzelne Funke hat aber nur die der Teilpotentialdifferenz V entsprechende Dämpfung. Die Anordnung für die induktive Erregung des Luftdrahtes durch die in den einzelnen Kondensatorkreisen erregten Schwingungen zeigen die Fig. 42 und 43, wobei die letztere Schaltung für weniger intensive, aber länger anhaltende Schwingungen des Senders bestimmt ist.

Wird in einem dieser Kondensatorkreise ein großer Ohmscher Widerstand geschaltet, so wird der Funke dieses Kreises matt, ohne

Fig. 40.

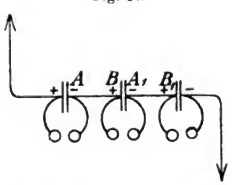
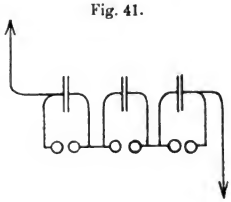


Fig. 41.



daß in den Funken der anderen Kreise eine Aenderung eintritt, woraus erhellt, daß jeder Kreis in sich ausschwingt. Trotzdem zeigen sich in den Verbindungsdrähten $AB, A_1 B_1$ (Fig. 40) starke Ausgleichsströmungen.

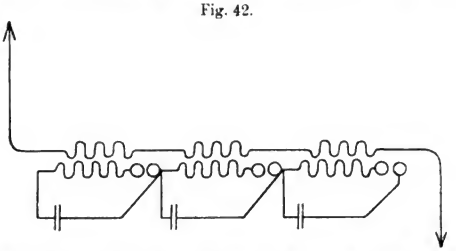
Auf diese Anordnungen wurde nun zurückgekommen, nachdem die Ausbildung von Methoden gelungen war, welche gestatteten, Phasendifferenzen zwischen schnellen Schwingungen nachzuweisen und zu messen, ohne das zu prüfende System störend zu beeinflussen. Diese Versuche führten zu einer festeren Kopplung der einzelnen Schwingungskreise unter sich, da eine solche das gleichzeitige Einsetzen der Funken unterstützt. Eine derartige Kopplung liegt bereits in den Schaltungen Fig. 40 bis 43 vor, bei welchen die Senderschwingungen das System isochron durchsetzen. Weitere Anordnungen zeigen die Fig. 44 und 45 und stellt in Fig. 44 der aus der Kapazität C und der Selbstinduktion l gebildete Kreis und in Fig. 45 der Kreis $C_1 f_1 B_1 A_2 f_2 C_1$ den Kopplungskreis dar. Die in dem letzteren Kreis

Digitized by Google

auftretende Schwingung bewirkt mit Einsetzen von f_1 auch das zwangsweise von f_2.

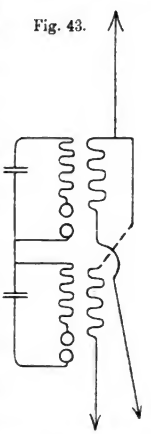
Bei der Schaltung Fig. 46 liegen zwischen den Kondensatoren

Fig. 42.



die großen Ohmschen oder induktiven Widerstände W_1 W_2 zwecks Ladung in Parallelschaltung. Bei Ueberschlagen in der Funkenstrecke A_1 B_1 setzt durch die Kopplungsbögen K_1 K_2 veranlaßt der Funke zwangsweise auch in A_2 B_2 ein und erfolgt dies phasengleich, wenn K_1 und K_2 möglichst frei von Selbstinduktion sind. Durch Einfügen einer Selbstinduktion in einem dieser Bögen läßt sich auch eine regulierbare Phasendifferenz erzeugen.

Fig. 43.



Eine weitere Anordnung zeigt Fig. 47, bei welcher die Kondensatoren über die Ohmschen Widerstände W_1 W_2 und W_3 parallel geladen werden. Auch hier setzen die Funken gleichzeitig ein und werden dann die großen Ladewiderstände praktisch außer Wirkung gesetzt.

Haben alle Kapazitäten den Wert C und alle Selbstinduktionen den Wert p, so geben n-Kapazitäten bei der Ladespannung V die Gesamtenergie $1/2\, n C V^2$. Die Schwingungsdauer hingegen ist durch das Produkt Cp bestimmt, weil die Kapazitäten beim Entladen als hintereinander geschaltet nur $\frac{1}{n}\, C$, die Selbstinduktionen aber aus dem gleichen Grunde $n\,p$ als Wert annehmen. Es ist sonach die Schwingungsdauer, aus der bekannten Schwingungsformel berechnet, ebenso groß, als wenn nur eine Kapazität C über eine Selbstinduktion p geschlossen wäre.

Digitized by Google

Nach der Darstellung läßt sich ein System $+ A f_1 p_1 - B$ (Fig. 48) als ein System für sich herausheben. In einem solchen Partialsystem entladet sich eine gewisse Elektrizitätsmenge von einer bestimmten Potentialdifferenz V mit einer bestimmten Schwingungszahl N durch

Fig. 44.

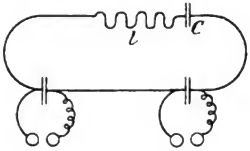
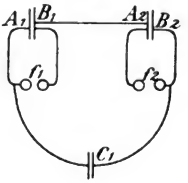


Fig. 45.



eine Selbstinduktion p, genau unter den gleichen Bedingungen wie in einem Einzelsystem, welches erhalten werden würde, wenn die beiden Belegungen $+ A$ und $- B$ über die Selbstinduktion p_1 und die Funkenstrecke zusammengestellt würden.

Dies wurde auch durch den Versuch bestätigt, indem man (Fig. 49)

Fig. 46.

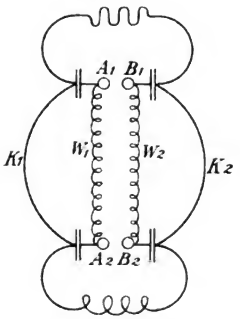
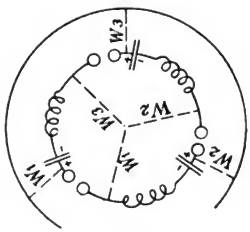


Fig. 47.



in drei in Resonanz gebrachten künstlichen Sendern, und zwar in jedem einzelnen gleichzeitig die gleichen Wirkungen (Endspannung, Erwärmung etc.) erhielt wie in dem einzelnen auf die vorstehende Weise gebildeten Kreise.

Digitized by Google

Man arbeitet sonach mit n-Schwingungskreisen mit der gleichen Oekonomie, welche der einzelne besitzt, und erhält hierbei, wie sich leicht nachweisen läßt, keine merkbare Phasendifferenz.

Die Schaltungen für die induktive und direkte Uebertragung der Energie auf den Sender zeigen Fig. 50 und 51. Mit der direkten Schaltung lassen sich auch mehrere Senderdrähte gleichzeitig erregen.

Fig. 48.

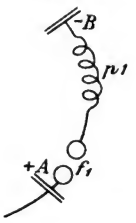
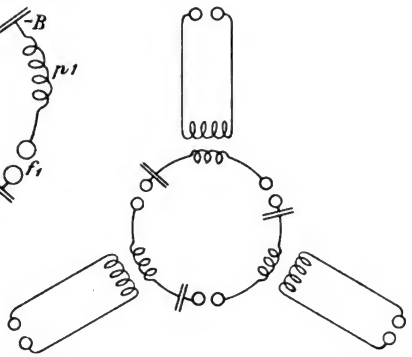


Fig. 49.



Der große Vorteil dieser Anordnung liegt darin, daß man die Energie vermehrt, indem in Parallelschaltung mit kleinen Spannungen geladen wird, während sich erst bei der Entladung die einzelnen Teile hintereinander schalten und treten auf diese Weise keine Spannungsdifferenzen auf, welche über die praktisch erreichbaren Isolationswiderstände hinausgehen.

Sind daher aus Gründen beliebiger Art die Grenzen der Leistungsfähigkeit eines einzelnen Systemes erreicht, so läßt sich doch hierdurch die Energie vergrößern, ohne die Schwingungszahl zu ändern.

Die bisherigen Erfahrungen bestätigen, daß es für jedes System einen günstigsten Wert der Funkenlänge gibt, d. i. jener Wert, für welchen die im Funken absorbierte Energie den geringsten Prozentsatz der zugeführten Gesamtenergie ausmacht. Es muß also sowohl

Digitized by Google

bei einem längeren als auch einem kürzeren Funken der prozentische Energieverbrauch zunehmen. Es soll nun, wenn man gezwungen ist mit größeren Entladespannungen zu arbeiten, als der günstigsten Funkenlänge entspricht, trotzdem der Energieverbrauch im Funken auf diesem Minimalwert erhalten bleiben. Wiewohl die Natur des Funkens noch wenig bekannt ist, so läßt sich doch dessen Verhalten unter sonst gleichen Verhältnissen eindeutig bestimmen und zwar aus dem elektrischen Felde vor und während der Entladung. Das Feld vor der Entladung ist nun in erster Linie durch die Potentialdifferenzen bestimmt und nur in sehr untergeordnetem Maße von den sogenannten Absolutwerten, d. h. den gegen die Umgebung verlaufen-

Fig. 50.

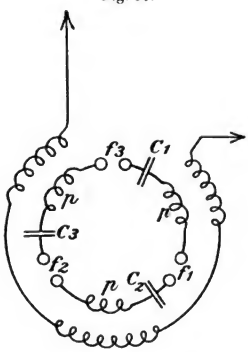
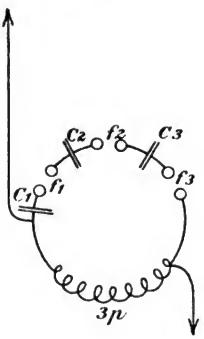


Fig. 51.



den Kraftlinien abhängig. In voller Strenge würde dies allerdings nur dann zutreffen, wenn die eine Elektrode von der anderen vollständig umschlossen wird. Das Feld während der Entladung wird wieder bestimmt durch die Strömung. Sollen daher Funken von gleichem Verhalten entstehen, so ist diesen Bedingungen Rechnung zu tragen.

Die Anordnung Fig. 52 genügt diesen Bedingungen, und zwar der ersten Bedingung, unmittelbar und der zweiten, nach den bisherigen Erfahrungen, aller Wahrscheinlichkeit nach. W_1 W_2 bedeuten hier wieder große Widerstände und sind die Zahlen 3000, 2000, 1000 und 0 als Beispiel angenommene Anfangspotentiale. Die mit dieser Anordnung durchgeführten Versuche bestätigten die Voraussicht.

Digitized by Google

Eine durch Herrn Rendahl vorgenommene Aenderung dieses Versuches zeigt Fig. 53. Die kleinen Hilfskondensatoren s_1 s_2 s_3 bewirken hier eine den Funkenlängen entsprechende zweckmäßige Potentialverteilung, wobei jedoch deren Kapazität für die Energie des ganzen Systems nicht in Betracht kommt.

Um jedoch deren Schwingungen vom Systeme ganz abzuschalten, können außerdem noch große Ohmsche oder induktive Widerstände in den Zuleitungen von den Hilfskondensatoren oder Spannungsverteilern zu den Funkenstrecken eingeschaltet werden.

Mit der hierdurch gegebenen rationellen Teilung der Funkenstrecken wird es möglich große Spannungen ökonomisch auszunutzen. Die günstigste Teilspannungsdifferenz dürfte nach durchgeführten Messungen für Funkenkugeln üblicher Größe bei 15000 Volt (0 bis 5 cm Funkenlänge) liegen.

Methode zur Messung der Phasenverschiebungen. Diese Methode beruht darauf, daß man in zwei Sekundärspulen s_1 s_2

Fig. 52.

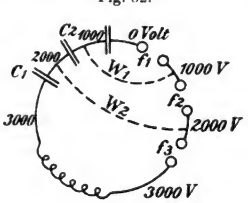
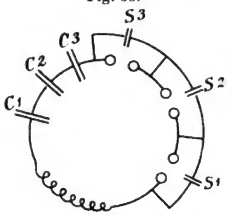


Fig. 53.



(Fig. 54) bei möglichst loser Kopplung durch Induktion elektromotorische Kräfte erregt und dann jene Größe mißt, welche der aus beiden Einzelnkräften resultierenden elektromotorischen Kraft proportional ist, wenn die Spulen $s_1 s_2$ das eine Mal hintereinander, das andere Mal gegeneinander geschaltet sind, wobei vorher beide Komponenten einander gleich zu machen sind. Die Feststellung erfolgt entweder durch Messung der Funkenlängen oder der Wärmewirkung. Sind die gefundenen Funkenlängen für beide Fälle f_1 und f_2 und die Thermometeranzeigen T_1 und T_2, so ist, insoweit die Thermometeranzeigen den Quadraten der Stromstärken gleich gesetzt werden dürfen, die Phasendifferenz φ gegeben durch

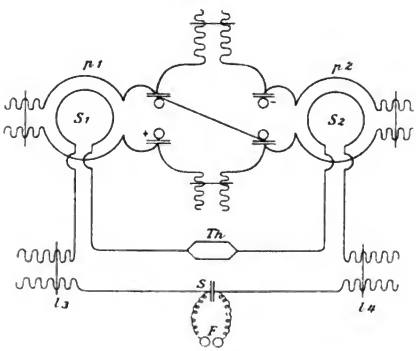
$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}.$$

Digitized by Google

In Fig. 54 wird s_1 von p_1 und s_2 von p_2 erregt. Der Meßkreis ist durch den Kondensator s und die Selbstinduktionen l_3 und l_4 auf Resonanz gebracht. Gemessen wird entweder mit dem Thermometer Th oder mit der Funkenstrecke F, die zum Kondensator s parallel gelegt ist. Die Zuleitungen zur Funkenstrecke dürfen, um die Funkenlänge vergrößern zu können, nicht zu klein gewählt werden.

Bei dieser Anordnung kann man nicht auf streng quasistationäre Ströme rechnen und ist deshalb für die möglichste Symmetrie in Bezug auf die Meßinstrumente zu sorgen. Ebenso sind die unangenehmen und nicht erwünschten Induktionswirkungen von Teilen der Strom-

Fig. 54.



bahn sehr zu beachten. Auch die Umschalter geben, selbst wenn sie sehr klein und aus Paraffin sind, gerne Anlaß zu Störungen. Es ist ferner darauf zu achten, daß die Resonanzstellen in allen drei Fällen, d. h. wenn s_1 und s_2 für sich allein oder wenn $s_1 \pm s_2$ bestimmt werden, unverändert bleiben. Das Thermometer ist womöglich durch ein empfindlicheres Instrument zu ersetzen.

Die gleichen Vorsichtsmaßnahmen sind in noch erhöhtem Maße bei der Anordnung in Fig. 55 zu beachten. Bei dieser Anordnung ist im Sekundärkreis nahezu eine halbe Wellenlänge hergestellt. Es läßt sich in diesem Kreise ganz ohne Kondensator arbeiten, doch erweist sich ein kleiner Kondensator s deshalb zweckmäßig, weil das Ganze nicht so empfindlich gegen undefinierbare Kapazitätsänderungen wird.

Digitized by Google

Mittels dieser Methoden werden trotz der erwähnten Schwierigkeit immer Anhaltspunkte gefunden und liefern diese, wenn man sie auf die Beantwortung passender Fragen anwenden kann, sogar gute Ergebnisse.

Bei den Schaltungen Fig. 47 und 50, wo es sich um die Untersuchung der Phasengleichheit handelte, ergab die Prüfung eines Systemes von vier Kondensatoren folgendes. Zwei Spulen des zu prüfenden Systemes wirkten induktiv auf zwei Spulen s_1 und s_2. Es gab:

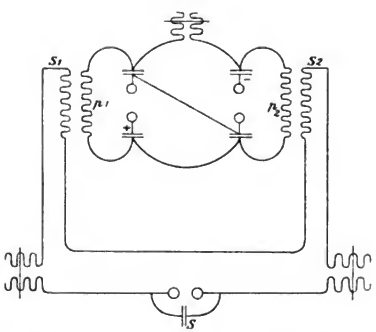
$s_1 + s_2$ einen starken hellen Funken von 3,6 mm und das Thermometer zeigte 170 Sk.

$s_1 - s_2$ dagegen ein schwaches Fünkchen von etwa 0,1 mm und das Thermometer zeigte kaum 1 Sk.

und ist dies ein Beweis für die nahezu absolute Phasengleichheit.

Ebenso ausgesprochen zeigt sich die Phasengleichheit für die Schaltung Fig. 46, wenn die Kopplungsbogen K′ und K″ möglichst

Fig. 55.



frei von Selbstinduktion sind. Bei $s_1 + s_2$ war der Funke ein lebhafter, knallender von etwa 2 mm, während bei $s_1 - s_2$ ein kaum sichtbares Fünkchen auftrat. Es kommt hier niemals dazwischen ein lebhafter Funke zum Vorschein und beweist dies, in welch sicherer Weise die sonst so launischen Funken hierdurch voneinander abhängig gemacht sind, da das schwankende Verhalten des Funkens sofort nach Entfernung des Kopplungsbogens wieder auftritt.

Untersuchungen von C. Tissot über die Energiemenge, welche in einem Empfangsdrahte für drahtlose Tele-

Digitized by Google

graphie auf verschiedene Entfernungen zur Wirkung gelangt[1]). Für diese Untersuchungen gelangte der von Leutnant Tissot noch weiter verbesserte bolometrische Wellenanzeiger (s. S. 185) in Verbindung mit einem d'Arsonvalschen Galvanometer mittlerer Empfindlichkeit zur Anwendung. Die kräftige Dämpfung des Galvanometers erleichterte die Messung und vergrößerte deren Genauigkeit. Mit diesem Galvanometer konnte eine Ablenkung von 100 Teilstrichen auf der 1 m langen, in tausend Teile geteilten Skala, durch aus einer Entfernung von 10 km entsendete elektrische Wellen erhalten werden.

Die Erregung der elektrischen Wellen, deren Wirkungen einem Vergleich unterzogen wurden, war eine direkte, und wurden die Bedingungen, unter welchen die Erregung erfolgte, also Stromstärke und Spannung des Erregerstromes, Funkenlänge, Schnelligkeit des Unterbrechers, möglichst gleich gehalten.

Die Beobachtungen erstreckten sich auf eine Reihe von Entsendungen, deren jede einzelne genügend lang aufrecht erhalten wurde, um eine gleichbleibende Erwärmung des Bolometers und somit auch einen dauernden Ausschlag am Galvanometer hervorzurufen. Es wurden für diese Feststellungen die Mittelwerte von 30 gesonderten Messungen, deren jede einzelne nicht um 2 % abwich, zu Grunde gelegt.

Die Erforschungen erstreckten sich auf den Vergleich der Wirkungen auf verschiedene Entfernungen und auf die Feststellung der absoluten Energiewerte, welche von dem Bolometer aufgenommen wurden.

Für den Vergleich der Wirkungen auf verschiedene Entfernungen kam eine feste und eine bewegliche Station zur Anwendung. Die Luftdrähte für die Sendung und den Empfang der beiden Stationen waren sowohl in der Form als auch in der Länge vollkommen gleich und bestanden aus vier parallelen Drähten von 55 m Länge.

Die Funken zur Erregung des Sendekreises hatten eine Länge von 5 cm. Bei einer Entfernung der beweglichen Station von 8900 m erhielt man eine permanente mittlere Ablenkung von 40 Teilstrichen des Galvanometers, bei Aufwendung eines Stromes in der Brücke von 27,5 Milliamp.

Auf eine Entfernung von 1150 m erhielt man bei der gleichen Entsendung die gleiche mittlere Ablenkung von 40 Teilstrichen mit einem totalen Strome von 0,45 Milliamp.

---

[1]) E. E. 1904, Bd. 39, S. 392.

Digitized by Google

Das Verhältnis der bei gleicher Ablenkung auf verschiedene Entfernungen benötigten Strommenge gibt auch das Verhältnis der empfangenen Energiemenge. Dieses Verhältnis ist $\frac{27,5}{0,45} = 61$. Die auf eine Entfernung von 1150 m aufgenommene Energie durch den Empfänger ist demnach 61mal größer als jene bei 8900 m. Das Verhältnis der Entfernungen $\frac{8900}{1150} = 7,75$. Das Quadrat dieser Zahl ist nun gleich 60 und ergibt sich demnach hier durch die direkte Messung, daß die aufgenommene Energiemenge höchstwahrscheinlich im genauen umgekehrten Verhältnisse zu dem Quadrate der Entfernungen steht.

Zur genauen Bestimmung des absoluten Wertes der auf das Bolometer einwirkenden Energiemenge wurden die beiden Zweige der feinen Drähte des Bolometer aus einem System von vier geradlinigen Drähten gebildet, welche eine Wheatstonesche Brücke bildeten. Der Luftdraht und die Erde wurden an je ein Ende der einen Diagonale angebunden, während die zweite Diagonale mit einer für die eigentliche Messung bestimmten Hauptbrücke in Verbindung stand.

Der für die Durchführung der Messungen gewählte Vorgang bestand darin, die dauernde Ablenkung des Galvanometers der Hauptbrücke unter der Einwirkung der elektrischen Schwingungen festzustellen, sodann den Luftdraht und die Erde abzuschalten und beide durch eine passende Gleichstromquelle zu ersetzen, deren Strom nach entsprechender Regelung auf dem Galvanometer den gleichen Ausschlag hervorruft, wie die elektrischen Schwingungen. Die Durchführung der Messungen erfolgte unter Einhaltung der größten Vorsicht.

Diese Messungen wurden für eine Entfernung der Sendestation von 1150 unter genau den vorhergehend beschriebenen Bedingungen, d. i. mit einem Funken von 5 cm Länge durchgeführt.

Der unter der Einwirkung der Sendung im Galvanometer erhaltene mittlere Ausschlag betrug 65,5 Teilstriche. Um den gleichen Ausschlag bei Anwendung eines Gleichstromes zu erhalten, mußten der Brücke 8,29 Milliamp. zugeführt werden. Es läßt sich daraus schließen, daß die in einem Bolometer durch einen Gleichstrom von 8,29 Milliamp. erzielbare thermische Wirkung die gleiche ist, wie jene, die durch den vom Luftdrahte aufgenommenen induzierten Wechselstrom erhalten wird.

Der Wert der von dem Luftdrahte für nur eine Entsendung aufgenommenen Strommenge konnte unter den gegebenen Versuchs-

Digitized by Google

bedingungen bei 12 Unterbrechungen in der Sekunde mit 0,69 Milliamp. angenommen werden. Der Widerstand des Bolometerzweiges auf die Brücke reduziert betrug 17,5 Ohm und demnach die im Bolometer zur Wirkung gelangte Energie

$$\frac{17{,}5 \,.\, 0{,}69^2}{10^6} = \frac{8{,}3}{10^6}$$

Joules in der Sekunde.

Die Arbeitsintensität ist jedoch viel bedeutender, da die Dauer der gedämpften Schwingungen, welche sich in dem Luftdrahte erregen, zwischen 10^{-5} bis 10^{-6} Sekunden liegt.

Die Feststellung der Periode mittels des rotierenden Spiegels gestattete den wahren Wert der Arbeitsintensität annähernd genau zu bestimmen.

Die Messung der Fernwirkung elektrischer Wellen mittels des Bolometers. Methode von C. Tissot[1]). Das Bolometer kann, wie dies bereits bei den Einrichtungen für die drahtlose Telegraphie von Fessenden[2]) erwähnt wurde, als Wellenanzeiger verwendet werden, und läßt sich auch für die Messung der von dem Luftdrahte oder Wellenfänger aufgefangenen Energiemenge ausnützen. Die Messungen werden in der Weise vorgenommen, daß in den Bolometerkreis ein sehr empfindliches Galvanometer eingeschaltet wird, aus dessen Ausschlag sich ein Rückschluß auf die Intensität der Wirkung ziehen läßt. Mit einer solchen Einrichtung wurde eine Reihe bemerkenswerter Ergebnisse erzielt. Zwecks Durchführung dieser Messungen wurde, um unter stets gleichen Bedingungen zu arbeiten, 2 km von der Meßstelle eine eigene Senderstation von geringer Kraftleistung errichtet. Für den Empfang wurde mit Rücksicht auf die kurze Entfernung ein minder empfindliches Galvanometer verwendet, mit welchem Ablenkungen bis zu 250 Teilstrichen der Skala erhalten werden konnten. Die bei Entsendung der Wellen durch direkte und indirekte Erregung des Sendedrahtes erhaltenen Ablenkungen wurden gegenseitig verglichen. Bei der direkten Erregung waren die Funkenkugeln einesteils mit dem Sendedraht, anderenteils mit der Erde verbunden. Bei der indirekten Erregung durch Transformation bestand der Erregerkreis außer der Funkenstrecke aus einer einzigen Windung Drahtes, welcher auf einen quadratischen Rahmen von 35, 50 oder 70 cm Seitenlänge aufgewunden war, sowie einer veränderlichen Anzahl

[1]) E. E. 1904, Bd. 38, S. 66.
[2]) F. d. T. I, S. 49; II, S. 79.

Digitized by Google

gleichartiger Leidener Flaschen. Die sekundäre Windung war mit dem Sendedrahte und der Erde verbunden und bestand aus einer bestimmten Anzahl von Windungen, die in eine Kautschukröhre eingeschlossen waren.

Für jede dieser Anordnungen gelangten lotrechte Sende- bezw. Empfangsdrähte von veränderlicher Länge zur Verwendung.

Die Periode der entsendeten Schwingungen wurde durch Photographieren des durch einen rotierenden Spiegel zerlegten Funkens nach der bereits beschriebenen Methode [1]) bestimmt. Dieser Vorgang gestattete auch eine Abschätzung der Dämpfung.

Die entsendeten Wellen, welche an der bestimmten Empfangsstelle in Bezug auf ihre Wirkung mittels des Bolometers gemessen wurden, konnten auch von anderen Empfängern gleichzeitig registriert werden. Für diese Kontrollversuche gelangten vornehmlich Fritter als Wellenanzeiger zur Verwendung. Es wurde nun hierbei festgestellt:

1. Die durch die direkte Erregung hervorgerufenen Wellenausstrahlungen wirken auf den Fritter viel intensiver ein, als die durch die indirekte Erregung entsendeten Wellenstrahlungen, wovon man sich, um in beiden Fällen einen gleich guten Empfang zu erzielen, durch Messung der aufgewendeten Energiemengen überzeugte.

Sobald jedoch bei der indirekten Erregung eine genügende Energiemenge zur Aufwendung gelangt, um den Fritter der Empfangsstelle mit Sicherheit zum Ansprechen zu bringen, scheint die Periode des Sendesystemes gänzlich ohne Einfluß auf die Güte und Sicherheit des Empfanges zu sein, da man die Kapazität dieses Sendesystemes auf das Zwölffache erhöhen bezw. um das Zwölffache verringern kann, ohne den Empfang hierdurch zu stören.

Umgekehrt verhält sich das Bolometer als Wellenanzeiger, indem die durch das Bolometer erhaltene Wirkung viel ausgesprochener hervortritt, wenn für die Wellenentsendung die indirekte Erregung des Sendedrahtes zur Anwendung gelangt. Beim Arbeiten in der Sendestation mit dem gleichen Erregerstrom, unter Anwendung eines Sende- und Empfangsdrahtes von 40 m Höhe, ergab sich

bei der direkten Wellenentsendung ein Ausschlag von 31
„ „ indirekten „ „ „ „ 64

Teilstrichen am Galvanometer.

2. Die Resonanzwirkung kommt beim Empfange mit dem Bolometer als Wellenanzeiger in der entschiedensten Weise zum Ausdruck,

[1]) F. d. T. I, S. 114.

Digitized by Google

insbesondere wenn man mit der indirekten Wellenerregung oder mit schwach gedämpften Schwingungen arbeitet. Aenderte man für einen bestimmten Fall bei sonst gleichbleibender Selbstinduktion die Kapazität des Entladungskreises in der folgend angegebenen Abstufung, so erhielt man am Galvanometer des Empfangskreises die darunter gesetzte Ablenkung in Teilstrichen der Skala angegeben und zwar

Kapazität	1	1,04	1,18	2,2	2,6	3
Ablenkung	10	17	42	75	51	26

Das bestimmt ausgesprochene Maximum der Ablenkung entspricht sonach einem Werte der Kapazität im Sendekreise von 2,2. Die Bestimmung der Periode der Wellen durch die Photographie des Funkens ergab für diesen Fall den Wert $T = 0{,}52 \cdot 10^{-6}$ Sek., was einer Wellenlänge von 156 m entspricht.

Die günstigste Periode entspricht sonach einer Wellenlänge, welche dem Vierfachen der Höhe der Luftdrähte gleichkommt.

Wenn jedoch mit mehrfachen Luftdrähten gearbeitet wird, ändert sich die Lage des Maximums ebenso wie ihr Wert. Für einen aus vier parallelen Drähten zusammengesetzten Empfangs- bezw. Sendedraht von 40 m Höhe erhielt man bei

einer Kapazität von	1	2	3	4	5	6
einen Ausschlag von	16	26	185	60	30	20

Teilstrichen, und ist hier das Maximum noch viel mehr ausgesprochen als beim einfachen Drahte.

3. Arbeitet man jedoch mit Luftdrähten ungleicher Höhe in der Sende- und Empfangsstation, so tritt das Maximum des Empfanges dann ein, wenn die Periode der entsendeten Wellen nahe derjenigen ist, welche der Eigenschwingung des Empfangsdrahtes entspricht.

Bei einer Höhe des einfachen Sendedrahtes von 40 m und einer solchen des Empfangsdrahtes von 60 m erhielt man bei

einer Kapazität von	1	2	3	4
einen Ausschlag von	10	49	38	11

Teilstrichen.

Die gemessene Periode der entsendeten Wellen für die Kapazität 2 ergab $T = 0{,}72 \cdot 10^{-6}$ Sek., und entsprach sohin einer Wellenlänge von $\lambda = 216$ m.

Die Resonanz ist hier jedoch nicht so deutlich ausgesprochen wie bei Luftdrähten gleicher Höhe und wird immer weniger scharf, je mehr die Luftdrähte sich in Bezug auf ihre Höhe unterscheiden.

Aber auch wenn die Schwingungen stark gedämpft sind, wie

Digitized by Google

dies bei der direkten Entsendung der Fall ist, läßt sich die Resonanz mittels des Bolometers feststellen und erhält man bei Anwendung gleicher Luftdrähte ein scharf ausgesprochenes Maximum.

Diese Ergebnisse erweisen die große Empfindlichkeit des Bolometers als Wellenanzeiger und führen auch zur Erkenntnis, daß für eine gegenseitige scharfe Abstimmung nicht nur eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen den Eigenschwingungen des Sende- und Empfangssystemes herrschen muß, sondern eine solche von der Wahl eines entsprechenden Wellenanzeigers mit abhängt. Der Fritter, welcher nur auf Spannung anspricht und die Wirkungen der einlangenden Wellenstöße nicht integriert, eignet sich demnach für die Erzielung einer abgestimmten Wellentelegraphie nur in geringem Maße.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen stimmt mit den von Prof. Reginald A. Fessenden[1]) gemachten Wahrnehmungen vollkommen überein und bestätigt die Tatsache, daß bei Verwendung von Frittern als Wellenanzeiger eine entsprechend scharfe Abstimmung nicht erhalten werden konnte.

C. Tissots Untersuchungen über die Zeitdauer, welche ein Fritter benötigt, um in den frittenden Zustand überführt zu werden[2]). Zweck der Untersuchung war, zu erforschen, ob die Ueberführung eines Fritters aus dem nichtleitenden in den leitenden Zustand unter der Einwirkung bloß einer Welle eine sofortige ist, oder ob sie fortschreitend erfolgt.

Der zu untersuchende Fritter wurde in einen Kreis geschaltet, welcher ein kleines galvanisches Element in Verbindung mit einem Potentiometer, einen nicht induktiven Widerstand und einen Kondensator enthielt.

Der Fritter wurde nichtleitend gemacht, so daß der Widerstand vom Werte r von einem sehr schwachen Strome der Intensität i_0 durchflossen wurde. Der Kondensator wurde demnach auf eine Potentialdifferenz $r \cdot i_0$ geladen. In der Zeit t wurde ein Funke durch einen Extrastrom erzeugt, welcher hinreichend kräftig war, den Fritter zum Fritten zu bringen. Der sehr nahe der Funkenstrecke gelegte Fritter beginnt sonach seine Frittwirkung in der Zeit t.

Nach Verlauf einer sehr kurzen aber veränderlichen Zeit τ wurden die Enden des Widerstandes r von dem Kondensator, welcher nunmehr auf das Potentiale ri geladen war, losgelöst, wobei i den Wert der Intensität in der Zeit $t + \tau$ vorstellt. Um nun die Zeit τ zu be-

[1]) F. d. T. II, S. 80.

[2]) E. E. Bd. 38, S. 361.

Digitized by Google

stimmen, wurde der Kondensator in ein ballistisches Elektrometer entladen. Die aufeinanderfolgenden Operationen wurden durch eine Unterbrechungspendeluhr von Bouty vollzogen.

Die Einrichtung ermöglichte, die Zeit t nach Belieben abzuändern und zwar durch Verdrehen einer Mikrometerschraube, welche ein System von Unterbrechungszähnen verschiebt und deren Lage und Abstand nach Bedarf abzuändern gestattet.

Durch fortschreitendes Aendern der Lage dieser Zähne erhält man Stellen, bei welchen ein Fritten überhaupt nicht, und wieder andere Stellen, bei welchen ein vollständiger Widerstandsabfall eintritt. Die verwendete Einrichtung gestattete jedoch, die Zeit nur bis zu einem Wert von $\frac{1}{4.10^3}$ Sek. zu bestimmen, so daß nur angenommen werden kann, der Widerstandsabfall eines Fritters vollzieht sich fortschreitend innerhalb einer Zeit, die kleiner ist als $\frac{1}{4.10^3}$ Sek.

Um noch unter diese Grenzen herabzugehen, wurde eine Kugel durch Rahmen laufen gelassen, um dadurch die beabsichtigten Umschaltungen vornehmen zu lassen. Bei Durchlauf durch den ersten Rahmen schloß die Kugel in der Zeit t einen induktiven Stromkreis, wodurch der erregende Funke erzeugt wurde. In der Zeit $t + \tau$ löste die Kugel die Verbindung zwischen dem Widerstande und dem Kondensator. Man konnte nun die zwei Rahmen bis auf eine Entfernung von 2 cm näherrücken, ohne daß der Widerstandsabfall hierdurch unvollständig wurde. Diese Entfernung entspricht bei einer Geschwindigkeit der Kugel von 200 m in der Sekunde einer Zeitdauer von $\frac{1}{10^4}$ Sek. und vollzieht sich demnach die Frittung in einer noch kürzeren Zeit.

V. Rothmund und A. Lessings Versuche mit dem elektrolytischen Wellenanzeiger[1]). Ueber die Tatsache, daß sich eine Zersetzungszelle mit einer sehr dünnen Platinspitze als Elektrode, elektrischen Wellen gegenüber wie ein Fritter verhält, haben die genannten Herren eingehende Untersuchungen nach der physikalisch-chemischen Seite hin unternommen. Die von Schlömilch[2]) angegebene Wahrnehmung, daß bei kathodischer Polarisation die Verstärkung des Stromes bei Bestrahlung durch elektrische Wellen nicht oder nur in sehr geringem Maße stattfindet, so daß die Gasart eine wesentliche

[1]) A. d. Ph., Bd. 15, S. 193.
[2]) F. d. T. II, S. 76.

Digitized by Google

Rolle zu spielen scheint, erschien auffallend. Es wurde nun erwiesen, daß, wenn die Spitze nur hinreichend fein ist, die verschiedensten Anordnungen des Wellengebers wirksam sind. Besonders kräftige Wirkungen wurden durch Erdung des Senders und Empfängers erzielt. Abweichend von Schlömilch, der auf seine Zelle so hohe zersetzende Spannungen wirken ließ, daß eine Gasentwicklung stattfand, wurde bei diesen Versuchen auch das Gebiet unterhalb des Zersetzungspunktes studiert und hierbei sogar eine relativ stärkere Vermehrung des Stromes beobachtet. Da die Störungen durch Gasblasen wegfallen, ergibt das Arbeiten mit geringerer Spannung überhaupt theoretisch durchsichtigere Resultate. Die Wahrnehmung Schlömilchs, daß die Spitze der Kathode wenig oder gar nicht wirksam ist, trifft nach diesen Untersuchungen nur für höhere Spannungen, etwa 4 Volt, zu. Bei niedrigeren Spannungen verlaufen die Vorgänge gleichartig, mag die Spitze Anode oder Kathode sein, nur ist die Wirkung im letzteren Falle etwas schwächer. Ueberhaupt scheint weder die chemische Natur der Zersetzungsprodukte, noch das für die Elektroden verwendete Material für den Charakter der Erscheinung ausschlaggebend zu sein. Der Schluß, daß die Eigenschaft einer sehr kleinen Elektrode bei genügender Leitfähigkeit auf den Reiz elektrischer Wellen zu reagieren eine allgemeine Erscheinung ist, erscheint daher gerechtfertigt.

Der sich abspielende Vorgang wird im Anschluß auf einen Hinweis von Reich wie folgt zu erklären gesucht. Trifft ein Wellenzug auf eine z. B. kathodisch polarisierte Spitze, so wird die anodische Komponente die Zelle leicht passieren und einen Teil des an der Anode und deren Umgebung angesammelten Wasserstoffes oxydieren und somit eine Depolarisation bewirken, die kathodische Komponente wird, da sie die schon vorhandene Polarisation erhöht, gar nicht oder wenigstens nur zum Teil hindurchgehen. Analoge Betrachtungen gelten auch für eine anodisch polarisierte Spitze. Diese Wirkung wird allerdings nur bei einer nicht zu geringen Dichte des Wechselstromes auftreten. Es wird sonach bei den kleinen Strommengen, um welche es sich hier handelt, eine außerordentlich kleine Oberfläche der Elektrode die wichtigste Bedingung sein. Die Wirkung wird umso besser auftreten, je größer die Leitfähigkeit des Elektrolyten ist. Der elektrolytische Wellenanzeiger verhält sich hiernach wie eine Zelle mit einer Aluminiumelektrode, die den Wechselstrom unter gewissen Bedingungen in einen pulsierenden Gleichstrom verwandelt, nur daß die Ursachen in beiden Fällen voneinander abweichen.

Digitized by Google

Ist diese Erklärung richtig, so muß unter dem Einflusse der Depolarisation jedesmal die Spannung im Empfänger abnehmen. In der Tat wurde bei diesen Versuchen eine solche Abnahme festgestellt, welche in der Regel jedoch sehr klein ist und bei geringen polarisierenden Kräften kaum merklich wird. Da jedoch die primäre Spannung und die Gegenkraft der Polarisation nahezu gleich sind, muß die geringste Aenderung der letzteren zu einer erheblichen Zunahme der Stromstärke führen. Es muß daher auch bei höheren Spannungen, wenn die Polarisation nahezu konstant wird, die Wirksamkeit der Wellen abnehmen. Die Versuche bestätigen, daß die relative Vermehrung bei steigender Stromstärke kleiner wird. Bei einem polarisierenden Strome von 4 Volt ließ sich, wenn die Spitze Kathode war, eine Wirkung der Wellen mit Sicherheit nicht mehr wahrnehmen. War die Spitze Anode, so trat nur eine Erhöhung von etwa $^1/_4$ ein. Bei niedrigen Spannungen wurden Erhöhungen um mehr als das Zwanzigfache beobachtet.

Artur L. Foleys Untersuchungen über den magnetischen Wellenanzeiger[1]). Der magnetische Wellenanzeiger von Marconi[2]) besteht nach dessen Beschreibung aus einem Kern von dünnen Eisendrähten, um welchen ein oder zwei Lagen dünnen Kupferdrahtes gewunden sind. Ueber diese Windungen ist ein Isoliermaterial und über diese ein längerer dünner Draht in sehr engen Windungen gelegt. Die innere Windung stand mit dem Luftdrahte und der Erde, die äußere mit einem Telephon in Verbindung. Ein Hufeisenmagnet, durch ein Uhrwerk angetrieben, war so angeordnet, daß er durch seine Drehung einen fortwährenden Wechsel in der Magnetisierung des Eisenkernes hervorrief. Die die untere Spule durchlaufenden elektrischen Schwingungen schienen dann die Wirkung der magnetischen Hysteresis zu verringern, so daß der Magnetismus des Kernes bei jeder Funkenentladung im Sender entweder plötzlich anstieg oder abfiel und hierdurch einen Induktionsstrom in der äußeren mit dem Telephon in Verbindung stehenden Windung hervorrief. Nach den Beobachtungen Marconis erscheinen die Signale im Telephon am schwächsten, wenn die Pole des sich drehenden Magnetes gerade den Eisenkern verlassen hatten und verstärkten sich mit weiterer Entfernung dieser Pole. Am kräftigsten sind sie jedoch dann, wenn sich die Pole dem Magnetkerne nähern.

---

[1]) Physical Review, Mai 1904.
[2]) F. d. T. S. 77.

Digitized by Google

Um diesbezüglich bestimmtere Ergebnisse zu erhalten, verwendete Prof. Artur L. Foley ein ballistisches Galvanometer an Stelle des Telephones, um die Ablenkungen für die verschiedenen bestimmten Lagen zwischen Eisenkern und Magnet vergleichen zu können. Der für diese Zwecke verwendete Eisenkern war 5 cm lang und setzte sich aus 26 gehärteten Klavierdrähten von 0,63 mm Durchmesser zusammen. Ueber diesen Kern wurde ein dünner seideisolierter Kupferdraht in einer Lage von 200 Windungen gelegt. Ein Ende dieser Windungen wurde mit dem 2 m hohen Empfangsdrahte und das zweite mit der Erde verbunden. Die Enden der sekundären Spule, welche aus 1000 Windungen von gleichfalls feinem isolierten Kupferdraht bestand, waren mit einem Rowland d'Arsonval-Galvanometer in Verbindung und gestattete es ein zwischengeschalteter Taster das Galvanometer nach jedem Ausschlage kurz zu schließen. Hierdurch wurde die Nadel sehr rasch zur Ruhe gebracht und auch ermöglicht, die Lage des Magneten zu ändern, ohne das Galvanometer zu beeinflussen.

Die kleine Induktionsrolle des Senders wurde so geregelt, daß sie zwischen zwei kleinen Messingkugeln einen 2 mm langen Funken gab. Die eine der Kugeln war mit dem 2 m hohen Sendedrahte, die andere mit der Erde verbunden. Die Entfernung zwischen der Sende- und der Empfangsstelle wurde von 2 bis zu 20 m geändert. Eine gegenseitige Abstimmung der beiden Kreise fand nicht statt. Der Wellenanzeiger war auf einem mit Rinnen und einer Einteilung versehenen Brette so befestigt, daß sich der Hufeisenmagnet, durch die Rinnen geführt, nach vor- und rückwärts in der Brettebene senkrecht zu der Achse des Kernes verschieben und in jeder gewünschten Entfernung aufstellen ließ. Der Kurzschluß des Galvanometers wurde sodann aufgehoben, der Sendeapparat in Tätigkeit gesetzt und der Magnet gleichzeitig verschoben, bis der Nadelausschlag anstieg und der Sprung im Nadelausschlage bemerkt wurde.

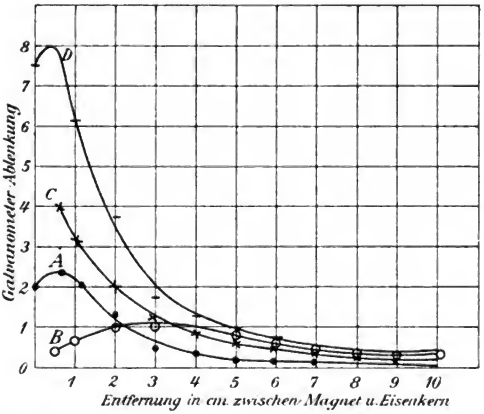
Die nachstehenden Kurven (Fig. 56) zeigen den Sprung der Galvanometernadel für die gegebenen Entfernungen zwischen Magnet und Eisenkernen wie folgt an.

Kurve A: der Magnet wurde 10 cm von dem Kerne aufgestellt und bewegt sich für jede Ablesung um 1 cm näher. Kurve B: der Magnet wurde unmittelbar neben den Enden des Kernes aufgestellt, und für jede Ablesung um 1 cm entfernt. Kurve C: der Magnet wurde umgekehrt und wie bei A genähert. Kurve D: der Magnet wurde um die Achse so verdreht, daß das Feld bei jeder Ablesung umgekehrt war.

Digitized by Google

Ein Vergleich der beiden Kurven A und B zeigt, daß die Empfindlichkeit des magnetischen Wellenanzeigers sowohl von der Entfernung als auch der Richtuug, nach welcher sich der Magnet bewegt, abhängt. Ist der Magnet dem Wellenanzeiger nahe, so wird der Wellenanzeiger empfindlicher, wenn sich der Magnet nähert. Befindet sich jedoch der Magnet in einiger Entfernung vom Kerne, so erhöht sich die Empfindlichkeit bei der sich entfernenden Bewegung. Beide Kurven zeigen ein Maximum der Empfindlichkeit für eine bestimmte

Fig. 56.



Entfernung des Magnetes vom Kerne an, welche für die Annäherung geringer ist als für das Entfernen.

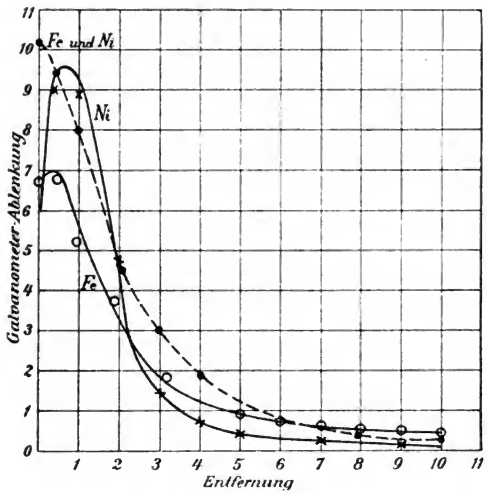
Da sich Nickel in schwachen magnetischen Feldern mehr und in starken magnetischen Feldern weniger empfindlich als Eisen erweist, schloß Foley, daß bei Verwendung eines Nickelkernes eine gleichförmigere Empfindlichkeit für die wechselnden Entfernungen des Magnetes erreicht werden könne.

Zu diesem Zwecke wurden 4 Kerne von 5 cm Länge und annähernd 4 cm im Durchmesser aus verschiedenem Materiale hergestellt und mit 200 Windungen feinen seideisolierten Kupferdrahtes in einer Lage umgeben. Die sekundäre Wicklung bestand wie bei den ersten Versuchen aus 1000 Windungen ebenfalls feinem isolierten Kupfer-

Digitized by Google

draht. Kern 1 bestand aus 26 Pianodrähten von 0,6 mm Durchmesser. Kern 2 aus 10 Piano- und 10 Nickeldrähten von 0,82 mm Durchmesser. Kern 3 aus 2 Piano- und 13 Nickeldrähten und Kern 4 aus 14 Nickeldrähten. Die Kurven (Fig. 57) zeigen die für die verschiedenen Entfernungen des Magnetes erhaltenen Ablenkungen bei Verwendung dieser Kerne. Die Ablesungen wurden in der Zeit gemacht, während welcher sich der Magnet in der Entfernung von 1 cm bewegte. Nach

Fig. 57.



jedem solchen Abschnitte wurde der Magnet um 180° verdreht, um einen Polwechsel zu erhalten.

Die Empfindlichkeit des Anzeigers mit Nickelkern war von der mit einem Eisenkerne erhaltenen Empfindlichkeit nicht wesentlich verschieden. Entgegen der Voraussetzung schien die Empfindlichkeit mit dem Nickelkern in starken magnetischen Feldern größer zu sein als in schwachen, und umgekehrt mit dem Eisenkern in schwachen Feldern stärker zu sein als in starken. Beide zeigten ein Maximum der Empfindlichkeit bei geringen Entfernungen des Magnetes, doch ist die Entfernung bei Nickel etwas größer als bei Eisen. Der Nickel-

Digitized by Google

kern erwies sich bei kurzen Entfernungen bis zu 2,5 cm empfindlicher, bei größeren Entfernungen jedoch weniger empfindlich als der Eisenkern.

Bei dem gemischten Kerne Eisen-Nickel stiegen die Ablenkungen des Galvanometers bis zur direkten Berührung des Magnetes mit dem Kerne an (punktierte Kurve). Diese Kurve liegt in allen Punkten höher als die Eisenkurve und in der Mehrzahl der Punkte höher als jene der Nickelkurve, so daß ein Wellenanzeiger mit gemischtem Kern, bestehend aus hartgezogenem Nickel- und gehärtetem Stahldraht viel empfindlicher ist, als wenn dessen Kern aus bloß einem dieser Materialien hergestellt wird.

Geringe Ausschläge wurden bei Verwendung eines Antimonkernes und eines Kernes aus Eisenfeile in eine Glasröhre eingeschlossen erhalten. Mit einem Wismutkern wurde überhaupt keine Ablenkung bemerkt.

Aller Wahrscheinlichkeit nach hängt die in den beiden Figuren gegebene Form der Kurven noch von anderen als den hier betrachteten Faktoren ab, wie beispielsweise der Frequenz und Intensität der durch den Sender erregten elektrischen Schwingungen, sowie dem Grade der Härtung des Stahldrahtes ab.

Eine vollständige Klärung der Wirkungsweise des magnetischen Wellenanzeigers wird sohin durch diese Untersuchungen noch nicht gebracht.

D. Abstimmungs- und Resonanzversuche.

Professor A. Slabys Untersuchungen über die Abstimmung funkentelegraphischer Sender[1]). Die Durchführung einer störungsfreien Abstimmung korrespondierender Apparate ist eine der wichtigsten, bisher noch nicht vollständig gelösten Fragen der drahtlosen Telegraphie. Die hier gestellte Aufgabe ist eine doppelte und bezieht sich sowohl auf den Sender wie auf den Empfänger. Im nachstehenden werden jedoch nur die Mittel zur Erzeugung eintöniger Schwingungen und die Methoden zur sicheren und schnellen Abstimmung auf andere Wellenlängen ohne Aenderung der als gegeben betrachteten Sendeleiter behandelt. Diese Eintönigkeit der Schwingungen, welche durch die bisher gebräuchlichen Senderschaltungen nicht erfüllt ist, wird zur Erreichung des gesteckten Zieles notwendig.

[1]) E. T. Z. 1904 S. 712, 777, 915, 1085.

Digitized by Google

In dieser Arbeit, welche sich im wesentlichen auf experimentelle Untersuchungen stützt, wird dahin gestrebt, durch Aufstellung grundlegender Beziehungen in einfacher Weise in den wissenschaftlichen Zusammenhang einzudringen. Alle angeführten Messungen sind mit dem Multiplikationsstab von Slaby (s. a. F. d. T. II, S. 57) durchgeführt und haben den vollen Beweis für dessen Brauchbarkeit erbracht. Die abgeleiteten Formeln sollen dem Ingenieur bei der Lösung gestellter Aufgaben vor allem den Weg weisen, wogegen sich für die genaue Regulierung stets des Multiplikationsstabes zu bedienen sein wird.

Fig. 58.

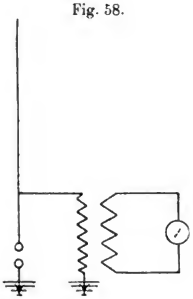
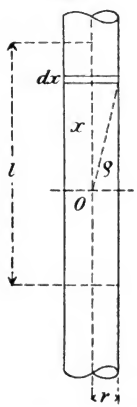


Fig. 59.



I. Direkt erregte Sender. Den Ausgangspunkt für diese Untersuchungen bildet der ursprüngliche Sender von Marconi (Fig. 58) und gelangen deshalb die Schwingungen dieses Senders zunächst zur Behandlung, um sodann einige Erörterungen prinzipieller Bedeutung, die für alle Senderformen Gültigkeit haben, anzuknüpfen. Vorerst wird es jedoch für notwendig erachtet, die Begriffe der Kapazität und Selbstinduktion eines gestreckten Drahtes für schnelle Schwingungen festzustellen.

1. Kapazität und Selbstinduktion. a) Die Kapazität. Die Kapazität eines Drahtes von der Länge l (Fig. 59), als Teil eines unendlich langen Drahtes gedacht, wird durch das Verhältnis der Ladung zum Potential definiert

Digitized by Google

$$C = \frac{Q}{V}.$$

Bezeichnet σ die spezifische Ladung pro Flächeneinheit und r den Halbmesser des Querschnittes, so ist

$$Q = 2 r \pi l \sigma.$$

Wird die Mantelfläche (Fig. 59) in Ringelemente von der Größe $2 r \pi d x$ zerlegt und das Potential mit Bezug auf den Mittelpunkt 0 der Achse gebildet, welcher das gleiche Potential wie die Mantelfläche besitzt, so wird

$$d V = \frac{2 r \pi d x \sigma}{r}$$

und erhält man durch Integration dieses Ausdruckes das Potential der Mantelfläche auf sich selbst

$$V = 4 r \pi \sigma \left[\ln \left(\frac{l}{r} + \sqrt{\frac{l^2}{r^2} + \frac{l^2}{4}} \right) - \ln r \right],$$

und, wenn l gegen r sehr groß wird,

$$V = 2 \frac{Q}{l} \ln \frac{l}{r},$$

sohin

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}}.$$

Dies trifft jedoch nur unter der Voraussetzung zu, daß die Flächendichtigkeit, sohin auch die Flächenspannung auf der ganzen Mantelfläche die gleiche ist. Beim Marconisender verteilt sich jedoch die Ladung von der Funkenstrecke bis zur Drahtspitze nach einem harmonischen Gesetze. Die Thomsonsche Formel

$$T = 2 \pi \sqrt{C L}$$

setzt ferner voraus, daß der Draht an und für sich kapazitätslos sei und die gesamte Kapazität C an irgend einer Stelle der Schwingungsbahn angesammelt ist.

Bezeichnet daher q (Fig. 60) die spezifische Ladung pro Längeneinheit an irgend einer Stelle und q_0 den Maximalwert an der Drahtspitze, so ist die Gesamtladung des Drahtes bei harmonischer Verteilung

$$M(q) \cdot l = \frac{2}{\pi} q_0 l.$$

Wäre sonach die gesamte Kapazität an der Drahtspitze konzentriert, so müßte dort eine Kapazität vorhanden sein

Digitized by Google

$$C^1 = \frac{\frac{2}{\pi} q_0 l}{V_0},$$

wenn V_0 die höchste zulässige Flächenspannung ist. Die Drahtkapazität bei gleichmäßiger Ladungsverteilung ist

$$C = \frac{q_0 l}{V_0} = \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}},$$

sohin

$$C^1 = \frac{2}{\pi} C = \frac{2}{\pi} \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}}.$$

Für die Ladung ist nur die höchste zulässige Flächenspannung maßgebend, da bei Ueberschreitung die dielektrische Festigkeit des umgebenden Mediums überwunden wird und Entladung stattfindet.

Die für die Schwingung nutzbar zu machende Ladung ist, wenn V das Ladungspotentiale und V_0 die höchste zulässige Flächenspannung,

$$Q = V C = V_0 C^1,$$

sonach

$$\frac{V}{V_0} = \frac{C^1}{C} = \frac{2}{\pi}.$$

Danach darf die höchste Ladespannung nur etwa $^2/_3$ der höchsten zulässigen Flächenspannung betragen. Jeder Ueberschuß bedeutet Verluste, was im Dunklen am Leuchten des Drahtes erkannt wird, welches an den Drahtenden am stärksten auftritt und gegen die Funkenstrecke zu abnimmt.

Für die Fernwirkung eines Leiters ist die Schwingungsenergie maßgebend, diese aber kann höchstens der Ladeenergie gleich sein. Die Ladungsenergie ist, wenn V_0 die höchste zulässige Spannung,

$$A = \frac{V_0^2 C^1}{2}$$

und hängt nur von der Kapazität und der zulässigen Flächen-, nicht aber auch von der Ladespannung ab. Ein gegebener Sendeleiter vermag daher nur eine begrenzte, nutzbar zu machende Energie aufnehmen.

Es gibt nun nur zwei Mittel, die Energieaufnahme eines Sendeleiters zu erhöhen und zwar 1. die Umkleidung des Sendeleiters mit einer Isolation von größerer dielektrischer Festigkeit und 2. die Vergrößerung der Kapazität des Sendeleiters durch Verwendung parallel

Digitized by Google

geschalteter Sendedrähte in Harfen- oder Kegelform oder durch Anordnung von Flächenkapazitäten an der Spitze des Drahtes.

b) Die Selbstinduktion. Der Selbstinduktionskoeffizient eines in allen Teilen von dem gleichen Strome durchlaufenen Drahtes läßt sich durch die Kraftlinienzahl, welche die Einheit der Stromstärke erzeugt, definieren. Ein geradliniger Strom J (Fig. 61) erzeugt ein magnetisches Feld mit sich ringförmig schließenden Kraftlinien, dessen Intensität in der Entfernung x nach dem Biot-Savartschen Gesetze gleich $\frac{2J}{x}$ ist. Legt man durch den Stromträger von der Länge l

Fig. 60.

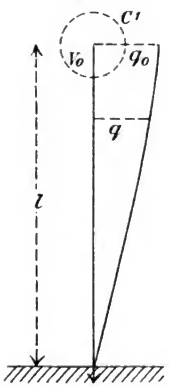
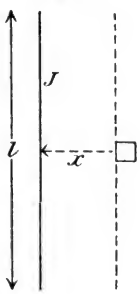


Fig. 61.



und den Punkt x eine Ebene, so gehen durch einen Elementarstreifen $\frac{2Jl\,dx}{x}$ Kraftlinien hindurch. Die Gesamtzahl der von einem Strome 1 erzeugten Kraftlinien ist sohin

$$L = 2l \int_{x=r}^{x=\infty} \frac{dx}{x},$$

wenn r den Drahtradius bedeutet. Das Biot-Savartsche Gesetz ist jedoch an die Voraussetzung $l = \infty$ gebunden. Für einen sehr langen Draht läßt sich jedoch mit großer Annäherung setzen

Digitized by Google

$$L = 2\,l \int_{x=r}^{x=l} \frac{dx}{x} = 2\,l \ln \frac{l}{r}.$$

Der im Marconidraht auftretende Strom ist aber nicht in allen Querschnitten der gleiche, sondern befolgt in seiner örtlichen Verteilung ein harmonisches Gesetz. Es ist sonach wieder mit einem Mittelwerte $\frac{2}{\pi}$ zu rechnen und wird für den Selbstinduktionskoeffizienten des Marconidrahtes erhalten

$$L^1 = \frac{2}{\pi} L = \frac{4}{\pi} l \ln \frac{l}{r},$$

und läßt sich in erster Annäherung mit diesem Werte auch für schnelle Schwingungen rechnen.

2. Der Marconisender. Wird der Marconisender als ein Kreis betrachtet, der durch eine kapazitätslose Drahtleitung mit dem Selbstinduktionskoeffizienten L^1 und durch die an der Spitze angesammelt gedachte Kapazität C^1 zur Erde geschlossen ist, so läßt sich zur Berechnung der Schwingungsperiode die Thomsonsche Formel

$$T = 2\,\pi \sqrt{C^1 L^1}$$

dann verwenden, wenn die elektrostatische Kapazität C^1 durch Division mit v^2 in das elektromagnetische Maß überführt wird

$$T = \frac{2\,\pi}{v} \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}} \cdot \frac{4}{\pi} l \ln \frac{l}{r}} = \frac{4\,l}{v}.$$

Erfolgt die Ausbreitung der Schwingungen mit Lichtgeschwindigkeit, so ist $v \,.\, T$ die Wellenlänge λ und man erhält die angenäherte Grundbeziehung

$$\frac{\lambda}{4} = l.$$

Der Marconidraht schwingt sonach in einer Viertelwellenlänge. Die gleichfalls entstehenden Oberwellen sind wegen ihrer wesentlich geringeren Energie außer acht zu lassen, da sie eine Störung der für die Abstimmung maßgebenden Verhältnisse niemals veranlassen können.

Verschiedene Versuche, bei welchen die Feststellung der Knotenpunkte mittels des Multiplikationsstabes erfolgte, erwiesen, daß die

Digitized by Google

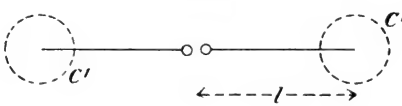
abgeleitete Beziehung $\frac{\lambda}{4} = l$ mit einer für praktische Zwecke ausreichenden Genauigkeit zutrifft. Eine wichtige praktische Frage für die Funkentelegraphie ist aber die, ob die Erde des Marconidrahtes mit Vorteil durch einen Gegendraht ersetzt werden kann. Werden zur Klarstellung dieser Frage die beiden Drähte von der Länge l (Fig. 62) kapazitätslos und die reduzierten Kapazitäten C^1 an deren Enden lokalisiert angenommen, so erhält man für die geradlinige Schwingungsbahn

$$L^1 = \frac{2}{\pi} \cdot 4\, l \ln \frac{l}{r}.$$

Die Gesamtkapazität hat den aus der Hintereinanderschaltung der Endkapazitäten resultierenden Wert

$$C^1 = \frac{1}{2} \frac{2}{\pi} \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}} \cdot \frac{1}{r^2},$$

Fig. 62.



und wird sonach

$$T = 2\pi \sqrt{C^1 L^1} = \frac{4\, l}{v} \text{ und } \lambda = v \,.\, T = 4\, l$$

dementsprechend die Wellenlänge nicht geändert, und läßt sich sonach für deren Berechnung die Erde durch ein Spiegelbild des Marconidrahtes ersetzt denken.

Die Energieaufnahme ist bei Erdung im Betrage

$$A_1 = \frac{V_0^2\, C^1}{2},$$

bei Anwendung eines Gegendrahtes jedoch nur im Betrage von

$$A_2 = \frac{V_0^2\, C^1}{4}$$

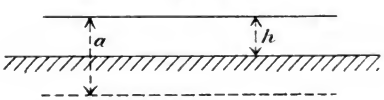
möglich, daher theoretisch nur halb so groß. Die Fernwirkung hängt aber in erster Linie von der Energieaufnahme ab und ist sonach die Erdung dem Gegendrahte vorzuziehen.

Digitized by Google

Es erweist sich dies einfach dadurch, daß man die Energieaufnahme durch den Schwingungsstrom mit einem an der Funkenstrecke eingeschalteten Hitzdrahtinstrumente kontrolliert. Es verhalten sich die Ausschläge bei Anwendung des Gegendrahtes und bei guter Erdung wie 1 : 1,5.

3. Die Eichung der Multiplikationsstäbe. Die Beziehung $\frac{\lambda}{4} = l$ ist für gewöhnlich nur eine angenäherte, da die Rechnung von nicht immer erfüllbaren Voraussetzungen ausgeht. So ist die Kapazität für einen unendlich langen Draht berechnet, der sich weit von Massen befindet, welche eine elektrische Ladung aufnehmen können. Die Berechnung des Induktionskoeffizienten vernachlässigt wieder die gegenseitige Induktion durch benachbarte lineare Leiter, berücksichtigt weiter nicht den Umstand, daß bei schnellen Schwingungen der Strom an der Oberfläche des Drahtes bleibt und setzt gleichfalls eine unendliche Drahtlänge voraus. Für die Eichung der Multiplikationsstäbe steht

Fig. 63.



nun kein anderes Mittel als die Wellenausbildung an linearen Leitern zur Verfügung, und mußten daher diese Fragen der Untersuchung unterzogen werden.

Nach den vorliegenden Untersuchungen ist anzunehmen, daß an geradlinigen Drähten die Ausbreitung der Elektrizität sich tatsächlich mit Lichtgeschwindigkeit vollzieht, sonach die Beziehung $\lambda = T v$ richtig ist. Kapazitätsmessungen an langen Drähten in geschlossenen Räumen geben stets große, bis zu 20 % betragende Abweichungen gegenüber der Berechnung nach der Formel $\frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}}$. In einem großen, am Boden seiner ganzen Ausdehnung nach mit Zink belegtem Saale wurde unter Berücksichtigung des Abstandes bessere Uebereinstimmung erzielt.

Auf einen im Abstande h (Fig. 63) von der Erde zu einer leitenden Fläche parallel geführten Drahte übt, wie die Rechnung zeigt, eine Fläche die gleiche Wirkung aus wie ein im Abstande $a = 2h$ parallel

Digitized by Google

geführter Draht und läßt sich daher zur Berechnung der Kapazität die Fläche durch ein Spiegelbild des Drahtes ersetzen. Die Kapazität zweier Drähte mit den Potentialen $+V$ und $-V$ ohne Berücksichtigung der Erdnähe berechnet sich nach der Formel

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{a^2}{r_1 r_2}},$$

wobei a den gegenseitigen Abstand der Drähte und $r_1 r_2$ die Halbmesser der Drähte darstellen.

Ist $r_1 = r_2$ und stellt der zweite Draht das Spiegelbild des ersten dar, indem sich in der Entfernung $\frac{a}{2}$ von l die Erde befindet, so wird

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{a}{r}} = \frac{l}{2 \ln \frac{2h}{r}},$$

weil die Potentialdifferenz nur mehr die Hälfte beträgt.

Messungen an einem blanken 10 m langen Drahte von 0,8 mm Dicke, welcher horizontal über dem Zinkboden ausgespannt war, lieferten bei verändertem Abstande h Kapazitätswerte, welche mit den nach vorstehender Formel berechneten fast vollständig übereinstimmten. Der Einfluß des Bodens bei Entfernungen von über 100 cm ist minimal, so daß bei einem Abstande von 75 bis 100 cm, welcher meist eingehalten wurde, die Drahtkapazität mit 6 cm für den Meter gerechnet werden kann. Die Berechnung nach der Formel $C = \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}}$ liefert pro Meter nur 4,9 cm Drahtkapazität, somit einen um rund 20 v. H. geringeren Wert.

Messungen in einem Saale mit Holzboden brachten unerwarteterweise das gleiche Ergebnis und scheint es sonach für die Kapazitätswirkung gleichgültig zu sein, ob der Boden aus leitendem Materiale besteht oder nicht. Da nun Kapazitätsvergrößerung in geschlossenen Räumen immer vorhanden ist, konnte auch die Eichung der Multiplikationsstäbe in solchen nicht vorgenommen werden.

Im Freien über einer langen gepflasterten Straße vorgenommene Kapazitätsmessungen ergaben bei einem Abstande von 1 m über dem Boden eine Kapazität von 5,2 cm pro Meter, näherten sich sonach dem theoretischen Werte 4,9 um ein bedeutendes. Für die Eichung der Multiplikationsstäbe wurden die Drähte zur Sicherheit 2 m über

Digitized by Google

Erdboden gespannt, so daß die Anwendung der Formel $C = \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}}$ zulässig war.

Eine Kontrolle der benutzten Rechnungsmethode für die Selbstinduktion konnte nicht vorgenommen werden, da solche Messungen an geradlinigen Drähten mit der erforderlichen Zuverlässigkeit überhaupt noch nicht ausgeführt wurden. Es läßt sich jedoch schließen, daß größere Abweichungen nur dann auftreten, wenn lineare Leiter oder größere gutleitende Flächen in der Nähe sind, was an der angegebenen Stelle ausgeschlossen war. Wird das Ende eines freischwingenden Drahtes als das natürliche Ende einer Viertelwelle angesehen, so stimmt die Elektrizitätsgeschwindigkeit am Drahte mit der Lichtgeschwindigkeit nur dann überein, wenn weder die Kapazität noch die Selbstinduktion des Drahtes durch äußere Einflüsse gestört werden.

Da bei dem Multiplikationsstabe wegen der Spulenform des Drahtes äußere Einflüsse auf dessen Selbstinduktion ausgeschlossen sind und bezüglich der Kapazität durch Innehaltung eines gewissen Abstandes von dem zu messenden Leiter vermieden werden können, muß er, wenn er an einem geradlinigen, von Störungen nicht beeinflußten Schwingungsleiter geeicht ist, stets die richtigen Frequenzen bezw. Wellenlängen angeben, welche sich auf die Ausbreitung der Schwingungen im freien Raume beziehen. Ist die Kapazität oder Selbstinduktion eines zu messenden geradlinigen Schwingungsleiters durch äußere Einflüsse gestört, so befindet sich die gemessene Wellenlänge nicht in Uebereinstimmung mit der Drahtlänge, außer es ist die Störung beider Größen zufällig eine solche, daß die Beziehung $l = \sqrt{CL}$ erfüllt bleibt.

Multiplikationsstäbe zeigten in dem mit dem Zinkboden belegten Raume um 4 bis 5 % kleinere Wellen an, als die Länge der verwendeten Drähte betrug. In mit Holzboden belegtem Raume zeigen sie dagegen mit den Drahtlängen übereinstimmende Wellenlängen an.

Die gefundene Abweichung in mit Zink belegtem Raume läßt sich auch rechnerisch begründen. Die richtige, der Lichtgeschwindigkeit entsprechende Wellenlänge ergibt sich aus

$$Tv = \lambda = 2\pi \sqrt{\frac{2}{\pi} C \cdot \frac{2}{\pi} L},$$

wenn unter Berücksichtigung des Abstandes vom Zinkboden

Digitized by Google

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{2h}{r}}$$

gesetzt und die Selbstinduktion unter Annahme reiner Oberflächenströmung ermittelt wird. Der Selbstinduktionskoeffizient eines Drahtes l vom Halbmesser r hat, wenn der Strom nicht in das Innere eindringt, den gleichen Wert wie die gegenseitige Induktion zweier paralleler Drähte und berechnet sich sonach aus

$$M = 2l\left(\ln \frac{2l}{r} - 1\right).$$

Von diesem Betrage ist jedoch die gegenseitige Induktion durch den leitenden Zinkboden abzuziehen. Ersetzt man diesen durch einen parallelen Draht, so wird der gesamte Induktionskoeffizient des Schwingungsdrahtes

$$L = 2l\left(\ln \frac{2l}{r} - \ln \frac{2l}{h}\right) = 2l \ln \frac{h}{r}$$

und wird

$$T v = \lambda = 4l \sqrt{\frac{\ln \frac{h}{r}}{\ln \frac{2h}{r}}}$$

und erhält man für $h = 100$ cm und $r = 0{,}04$ cm als Viertelwellenlänge über dem Zinkboden

$$\frac{\lambda}{4} = 0{,}958\, l.$$

Die Messung an einem 12 m langen Drahte von 0,8 mm Durchmesser ergab bei 1 m Bodenabstand für $\frac{\lambda}{4} = 5{,}75$ m statt 6 m. Die Rechnung liefert für $\frac{\lambda}{4} = 5{,}748$ und gibt somit eine schöne Uebereinstimmung.

Bei feuchter nebeliger Witterung durchgeführte Eichung ergab gegenüber der Eichung bei klarem Frostwetter, trotzdem in beiden Fällen mit gleicher Sorgfalt gearbeitet wurde, eine für die ganze Meßreihe gleichbleibende Differenz von mehreren Prozenten, die sich nur aus der Kapazitätsvergrößerung des Schwingungsleiters durch die feuchte Luft erklären läßt. Dementsprechend werden in der Folge die Eichungen nur bei trockenem Wetter vorgenommen.

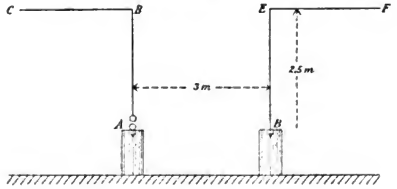
4. Die Fernwirkung des Marconisenders. Der elektrische

Digitized by Google

Vorgang in einem frei schwingenden Drahtgebilde kennzeichnet sich durch einen fortwährenden Wechsel zwischen Ladungs- und Strömungsenergie.

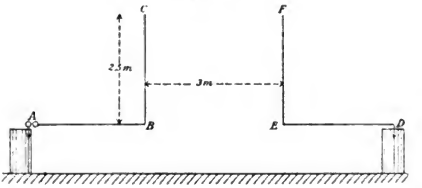
Um die günstigste Form eines Sendeleiters bestimmen zu können, ist es zu wissen notwendig, von welcher Energieform des schwingenden

Fig. 64.



Leiters die Fernwirkung abhängt. Der obere Teil eines schwingenden Drahtes erzeugt nun ein pulsierendes elektrisches, der untere Teil ein mit gleicher Frequenz pulsierendes magnetisches Kraftfeld. Die elektrischen Kraftlinien gehen normal zur Drahtoberfläche aus, die magnetischen Kraftlinien schließen sich zu wachsenden konzentrischen

Fig. 65.



Kreisen. Jene verdichten sich in Luftschichten, die von der Erdoberfläche einen gewissen Abstand haben, diese in deren unmittelbarer Nähe. Beide Energieformen üben aber Fernwirkungen aus.

Nach der Maxwellschen Theorie nehmen die elektrischen Fernwirkungen mit dem Kubus, die magnetischen mit dem Quadrate der Entfernungen ab. Es stellt sich nun die Frage: Sind an der Fernwirkung eines funkentelegraphischen Senders die elektrischen oder die magnetischen Kraftlinien in gleicher Weise beteiligt, bezw. welche von diesen beiden hat das Uebergewicht?

Digitized by Google

Wiewohl nun das Studium dieser Frage in den Laboratorien, weil sich die rein elektrischen Wirkungen niemals ausschließen lassen, sehr große Schwierigkeiten bietet und bei Versuchen im Freien mit den verschiedensten Einflüssen zu rechnen ist und außerdem das sichere Meßinstrument fehlt, welches die Wirkungen ziffermäßig zu ordnen gestattet, wurde diese Frage auf Grund der folgenden Versuche im Sinne der Maxwellschen Folgerungen zu beantworten gesucht.

Ein geerdeter Sendedraht A B C von 5 m Länge wurde so angeordnet, daß er mit seiner halben Länge einem gleichartigen Empfänger D E F parallel lief und zwar einmal in der Aufstellung Fig. 64, das andere Mal in der Aufstellung Fig. 65. Im ersten Falle wirkte hauptsächlich der Spannungsbauch, im zweiten Falle der Strombauch des Senders. Als Erdung diente der Zinkbelag des Fußbodens, welcher mit den Drähten durch je einen Zinkzylinder von 1 m Höhe und 0,4 m Durchmesser verbunden war. Die Funkenlänge am Empfänger bei F mit dem Mikrometer gemessen ergab im Falle 1 (Fig. 64) 0,293 mm und im Falle 2 (Fig. 65) 0,403 mm. Die Wirkung des Strombauches war hiernach um 38 % größer als die des Spannungsbauches.

Eine Wiederholung des Versuches mit 10 m langen Drähten bei 1,6 m Abstand ergab einen Unterschied im gleichen Sinne von 35 %.

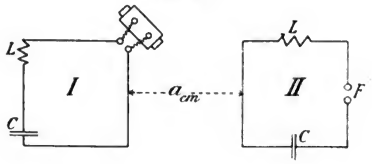
Wurden zwei Quadrate von 3 m Seitenlänge aufeinander abgestimmt und einander abwechselnd wie in Fig. 66 und 67 gegenübergestellt, so sind, da sich zwischen der Selbstinduktion L und der Kapazität C stets der Spannungs- und auf dem gegenüberliegenden Draht der Strombauch ausbildet, im ersten Falle die elektrischen, im zweiten Falle die magnetischen Kraftlinien an der Uebertragung stärker beteiligt. Bei größerer Nähe des Spannungsdrahtes zeigt sich eine schnellere Abnahme der Wirkung als im anderen Falle. Von einer gewissen Entfernung ab ist die Wirkung für beide Fälle die gleiche und dürfte von da aus nur den magnetischen Kraftlinien zuzuschreiben sein.

Hieraus zieht sich der wichtige Schluß, den Standort des Senders so zu wählen, daß sich die vom Strombauch ausgehenden Kraftlinien möglichst unbehindert entwickeln und ausbreiten können. Alle lotrechten Leiter und Halbleiter von einiger linearer Ausdehnung in der Nähe der Station wirken, da sie von den magnetischen Kraftlinien geschnitten werden, als ein Verlust bringendes Hindernis. Es sind daher die Standorte möglichst hoch und so zu wählen, daß die erwähnten Hindernisse möglichst ausgeschaltet werden. Eine gute Erdung ermöglicht erst die volle Ausnutzung des Strombauches. Auf Schiffen

Digitized by Google

läßt sich eine solche leicht herstellen. Für Landstationen sind zumeist besondere Vorkehrungen zu treffen. Die Güte einer Erdverbindung läßt sich leicht mit dem Multiplikationsstabe feststellen, indem man tunlichst nahe zur Erde eine Funkenstrecke legt, deren zweiter Pol mit einem 10 bis 20 m langen geraden Drahte verbunden ist. Nun wird

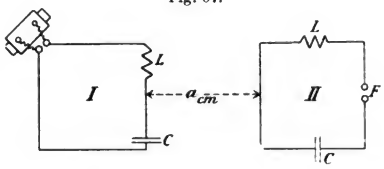
Fig. 66.



die Viertelwellenlänge des Drahtes gemessen. Je mehr sich diese Viertelwellenlänge der Drahtlänge nähert, desto besser ist die Erdung.

5. Harfen und Kegelsender. Es wurde bereits gezeigt (s. die F. d. T. II, S. 60), daß zwei im Abstande e parallel geführte

Fig. 67.



Drähte von der Länge l und der Dicke $2r$ für gleichmäßig verteilte Ladung von gleichem Vorzeichen die Kapazität

$$C = \alpha \frac{2l}{2 \ln \frac{l}{r}}$$

haben, welche, da die gleich geladenen Drähte eine entelektrisierende Wirkung aufeinander ausüben, kleiner ist als die doppelte Kapazität eines Leiters, und erscheint diesem Umstande durch den Entelektrisierungsfaktor $\alpha < 1$ Rechnung getragen. Dieser Faktor wurde in folgender Weise ermittelt.

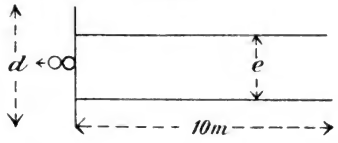
An einer ähnlich wie in Fig. 64 mittels Blechzylinder und Zinkboden geerdeten Funkenstrecke wurde ein Querdraht d von 1 m Länge befestigt und mit diesem ein 10 m langer, parallel zum Zinkboden

Digitized by Google

ausgespannter Draht verbunden. Die Kapazität dieses Drahtes betrug nach Abzug des Querdrahtes 60 cm und die Viertelwellenlänge 9,6 m. Nunmehr wurden zwei Drähte in verschiedenem Abstande e (Fig. 68) voneinander ausgespannt und in gleicher Weise Kapazität und Wellenlänge gemessen.

Es ergab sich aus diesen Messungen, daß die Kapazität der Drähte mit zunehmender Entfernung e immer langsamer zunimmt und bei 1 m Entfernung die doppelte Kapazität eines Drahtes erreicht, die von da ab gleich bleibt. Es schließt sich hieraus, daß die entelektrisierende Wirkung bei einer Entfernung der Drähte von 1 m ver-

Fig. 68.



schwindet. Auf diese Entfernung zeigen auch die Wellen in den beiden Drähten eine Länge, die der Wellenlänge im Einzeldraht entspricht.

Der Faktor α folgt aus der Beziehung

$$\alpha = \frac{C}{120}$$

und zeigt nachstehende Abhängigkeit von der Entfernung e:

e cm	α
5	0,700
10	0,775
20	0,842
30	0,883
40	0,917
60	0,958
80	0,983
100	1,000

Der Selbstinduktionskoeffizient des Doppeldrahtes wäre, wenn die wechselseitige Induktion vernachlässigt werden könnte, da die Drähte parallel geschaltet sind, nur halb so groß wie der eines einfachen Drahtes. Die wechselseitige Induktion der gleichgerichteten

Digitized by Google

Ströme vermehrt aber die Selbstinduktion um einen gleichfalls von der Entfernung abhängigen Betrag und beträgt sonach für den Doppeldraht

$$L = \frac{1}{\beta} l \ln \frac{l}{r},$$

worin der Koeffizient β von der Entfernung e abhängig und < 1 ist.

Sind die Wellenlängen bekannt, so läßt sich die Selbstinduktion aus der Beziehung

$$\frac{\lambda}{4} = l \sqrt{CL}$$

und daraus auch wieder β ableiten, wenn der Selbstinduktionskoeffizient des einfachen Drahtes bekannt ist.

Nach den Untersuchungen erstreckt sich der Einfluß der wechselseitigen Induktion auf weitere Entfernungen als der Einfluß der entelektrisierenden Wirkung und wird sonach erst bei einem Abstande der Drähte um mehr als 1 m, $\alpha = \beta$. Erst auf diese Entfernung unterscheidet sich die Wellenlänge des Doppeldrahtes nur mehr unwesentlich von jener des einfachen Drahtes.

Die sekundliche Schwingungsenergie nimmt nun mit $\sqrt{\frac{C}{L}}$ zu und läßt sich daher durch einen Doppeldraht tatsächlich verdoppeln.

Das gleiche trifft auch für n parallel geführte Drähte zu und läßt sich die sekundliche Schwingungsenergie im Verhältnisse 1 : n ohne wesentliche Aenderung der Wellenlänge steigern, wenn die Drähte einen Abstand von mehr als 1 m besitzen.

Bei geringerem Abstande der Drähte trifft dies, da der Faktor α zu berücksichtigen ist, nicht zu. Messungen an einer Harfe von zehn parallelen 10 m langen Drähten bei einem Drahtabstand von 25 cm ergaben eine Kapazität von 323 cm und eine Viertelwellenlänge von 12,22 m. Der Selbstinduktionskoeffizient wurde mit 4623 cm und die sekundliche Schwingungsenergie $10\,\alpha = 5{,}38$mal größer als die Energie eines einzelnen Drahtes von 10 m Länge ermittelt.

Könnte man den Abstand der einzelnen Drähte mit 2 m wählen, so ließe sich die Energie sicher um den zehnfachen Betrag steigern, es entsteht aber dann die Frage, ob ein solcher Harfensender noch eintönig ist. Versuche zeigen nun, daß das Drahtsystem einer Harfe nicht als ein Ganzes schwingt, sondern daß jeder Draht eine eigene Welle annimmt, deren Länge von der Entfernung des Anschlußpunktes von der Funkenstrecke mit abhängig ist. Es läßt sich die ganze

Digitized by Google

Harfe aber auf verschiedene Weise leicht eintönig machen, und es ist das einfachste, die oberen Enden der Harfe leitend zu verbinden.

Die Untersuchungen bei kegelförmiger Anordnung der Sendedrähte ergab, daß sich die sekundliche Schwingungsenergie zwar ebenfalls wesentlich, aber doch nicht so sehr wie bei Harfensendern vergrößern läßt, somit der Harfensender günstigere Wirkungen hat.

Im allgemeinen lassen sich jedoch durch Harfen- und Kegelanordnungen Kapazitätsvergrößerungen und Verstärkungen der Fernwirkungen innerhalb weiter Grenzen ermöglichen, so daß jede noch so große Entfernung auf der Erdoberfläche überwunden werden kann, vorausgesetzt, daß die Möglichkeit vorliegt, die Drahtmassen der Schwingungsgebilde beliebig zu vermehren und die erforderliche Ladeenergie mit ausgedehnten Maschinenanlagen zu erzeugen.

6. Spulensender. Für Abstimmungszwecke muß ohne Aenderung der als gegeben zu betrachtenden linearen Senderlänge die Wellenlänge mit einfachen Mitteln geändert werden können. Eine Vergrößerung der Wellenlänge läßt sich innerhalb weiter Grenzen durch Einschalten von Spulen zwischen Sendedraht und Funkenstrecke erzielen. Es ist nun auch der weitere Einfluß einer solchen zusätzlichen Selbstinduktion zu untersuchen.

Für die Feststellung der Selbstinduktionskoeffizienten wurde sich nach einem von Nernst angegebenen Verfahren durch Eichung mit Hochfrequenzströmen folgender Einrichtung bedient. Eine Brücke (Fig. 69) wird über eine Funkenstrecke mit Hochspannung gespeist. Zwei Zweige der Brücke enthalten Leidener Flaschen C von genau gleicher Kapazität (1200 cm). In den anderen Zweigen befinden sich einerseits die zu eichenden Spulen Ln, anderseits Quadrate von der Seitenlänge a, deren Selbstinduktionskoeffizienten für Hochfrequenz nach der Wienschen Formel

$$L = 4\left[2a \ln \frac{a}{1{,}207\, r} - 1{,}1716\, a\right]$$

berechnet werden.

Bei gleichem Potential in A und B sind auch hier die Produkte der gegenüberliegenden Widerstände, im vorliegenden Falle sind es die scheinbaren, gleich, d. h.

$$L\omega \cdot \frac{1}{C\omega} = L_n\omega \cdot \frac{1}{C\omega} \text{ oder } L = L_n.$$

Man schaltet, um dieses Gleichgewicht herzustellen, bei bestimmter Seitenlänge a Spulen von verschiedener Windungszahl versuchsweise

Digitized by Google

so lange ein, bis das Licht der in Brückendiagonale $A\,B$ eingeschalteten Geißlerröhre erlischt, da dann das Ziel erreicht ist. Da sich die Selbstinduktion von Quadraten nach der gegebenen Formel bis auf 3 % genau berechnen läßt, bestimmt sich auch die Selbstinduktion der zu eichenden Spulen mit der gleichen Genauigkeit.

Die Angaben beziehen sich hierbei auf eine nahezu gleichmäßige Stromverteilung in den einzelnen Windungen der Spule.

Für die Abstimmung einer gegebenen Drahtlänge l auf größere Wellenlängen als $\frac{\lambda}{4} = l$ mittels Spulen kommt nur deren Einschaltung

Fig. 69.

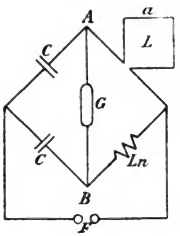


Fig. 70.

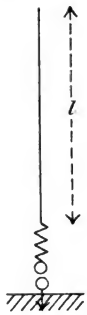
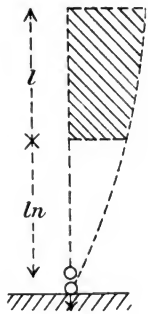


Fig. 71.



unmittelbar oberhalb der Funkenstrecke (Fig. 70) in Betracht, die Wellenlänge folgt aus der Schwingungsformel

$$\lambda = 2\pi \sqrt{C^1 L^1},$$

wenn für C^1 und L^1 die entsprechend reduzierten Werte genommen werden. Ersetzt man die Spule durch eine äquivalente Drahtlänge ln (Fig. 71), so müßte der Draht $ln + l$ die aufgetragene Spannungsverteilung annehmen. Dem Drahte l würde hierbei eine Kapazität entsprechen, die durch den Mittelwert der schraffierten Fläche bestimmt ist. Statt des Reduktionsfaktors $\frac{2}{\pi}$, der für den vollen Quadranten einer Sinuslinie gilt, ist jetzt ein größerer Formfaktor zu rechnen, den man durch Planimetrierung an einer Sinuslinie für beliebige Verhältnisse $\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$ ermitteln und graphisch auftragen kann. Für die Selbst-

Digitized by Google

induktion des geraden Drahtes ist in ähnlicher Weise die in Fig. 72 schraffierte Fläche für die Stromverteilung zu berücksichtigen, aber statt des Reduktionsfaktors $\frac{2}{\pi}$ ein kleinerer Formfaktor ξ zu nehmen, der gleichfalls durch Planimetrierung gewonnen und als Funktion von $\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$ zum Abgreifen für beliebige Verhältnisse aufgetragen wird.

Die Kapazität der Spule ist außerordentlich klein und der Drahtkapazität gegenüber zu vernachlässigen. Der Formfaktor für die Selbst-

Fig. 72.

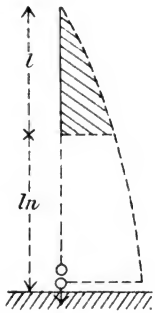
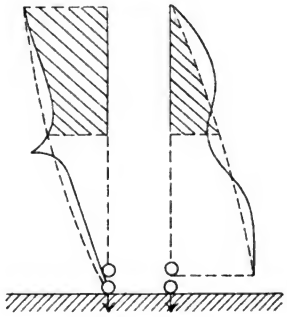


Fig. 73.



induktion der Spule läßt sich mit ebenso großer Annäherung gleich 1 setzen, so daß sich die Wellenlänge des Gesamtsystemes nach der Formel berechnet

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{(Ln + Ld\xi)\,Cd\eta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

worin ξ den Formfaktor für den Strom und η jenen für die Spannung bedeutet.

Durch die Einfügung der Spulen erleiden jedoch die in Fig. 71 und 72 dargestellten Spannungs- und Stromkurven eine Verzerrung (Fig. 73), indem sich am Ende der Spule stets eine kleine Spannungssteigerung in Verbindung mit einem schwachen Stromabfall zeigt.

Um nun zu untersuchen, ob diese Aenderung einen wesentlichen Einfluß auf die angegebene Berechnung der Wellenlänge ausübt, wurden

Digitized by Google

an einem 10 m langen Drahte unter Einschaltung verschiedener Spulen die Wellenlängen gemessen und mit den berechneten verglichen, wobei sich so geringfügige Abweichungen ergaben, daß die angewendete Methode zulässig und einwandfrei ist.

Um einen Marconisender gegebener Drahtlänge auf eine größere Wellenlänge abzustimmen, mißt man vorerst mit der Telephonbrücke die Kapazität und mittels des Multiplikationsstabes die Wellenlänge dieses Senders. Aus der Beziehung

$$\frac{\lambda o}{4} = \sqrt{Cd \,.\, Ld}$$

berechnet sich der Selbstinduktionskoeffizient Ld. Dem Verhältnis $\frac{l}{\frac{\lambda}{4}}$ entsprechend werden vorerst aus der erwähnten Kurventafel die Werte für ξ und η abgegriffen und wird sodann aus der Gl. 1 der erforderliche Wert für Ln berechnet. Man entnimmt hierauf aus dem vorhandenen Vorrate von Selbstinduktionsspulen eine, deren Wert dem berechneten entspricht, bezw. etwas größer ist, so daß sie durch eine geringe Verkürzung des Windungsdrahtes leicht darauf abgestimmt werden kann. Zur größeren Sicherheit wird die nach Einschaltung der Spule berechnete Wellenlänge mittels des Multiplikationsstabes kontrolliert.

Ordnet man eine Reihe von Tastern an, welche mit der Funkenauslösung zugleich die Einschaltung verschiedener Spulen bewirken, so kann man nach Bedarf fortlaufende Reihen von Impulsen verschiedener Wellenlängen erteilen. Auf diese Weise läßt sich eine mehrfache Abstimmungstelegraphie durchführen, deren Wert darin besteht, daß die Genauigkeit der verwendeten Wellenlängen von der Sachkenntnis und Geschicklichkeit des Telegraphisten unabhängig wird.

Mit der Verwendung von Spulen zu Abstimmungszwecken ist aber stets eine Schwächung der Fernwirkung verbunden, für welche allein die in dem Leiter linear schwingende Stromenergie in Betracht kommt. Die Größe dieser Stromenergie hängt nun vom Formfaktor ab und verringert sich demnach mit zunehmender Spuleninduktion. Die Ladungsenergie, welche ein Sendedraht aufzunehmen vermag, hängt von der zulässigen Flächenspannung und der Kapazität des Sendedrahtes ab und ist für langsame Schwingungen konstant. Die bei der Entladung auftretende Schwingungsenergie verbleibt zum großen Teile in der Spule und nur ein entsprechender geringer Betrag liefert nutzbare Schwingungen in dem linearen Leiter. Während der die Fern-

Digitized by Google

wirkung bedingende Formfaktor des Drahtes ohne Spule 0,637 beträgt, sinkt er bei Verdopplung der Wellenlänge durch Einschaltung einer entsprechenden Spule auf 0,4 herab. Die nutzbare Schwingungsenergie hängt aber von dem Quadrate der Stromstärke und damit auch von dem Formfaktor ab. Zur Ermittlung der vom eigentlichen Schwingungsleiter aufgenommenen Stromstärke bei verschiedenen Spulenbelastungen wurden in den in Fig. 74 dargestellten Harfensender von 30 m Länge Spulen verschiedener Selbstinduktion *Ln* eingeschaltet und außer der Wellenlänge auch die Stromaufnahme, letztere mittels eines Hitzdrahtampèremeters, gemessen und hierbei gefunden, daß schon bei einer Verlängerung der Wellenlänge um nicht ganz das Doppelte die

Fig. 74.

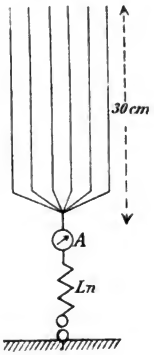
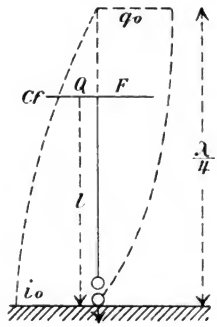


Fig. 75.



Stromstärke durch die eingeschaltete Selbstinduktion um 30 % abnahm, dann aber trotz Einschaltung größerer Selbstinduktionen ziemlich konstant blieb. Es wird daher dort, wo die Fernwirkung stark in Betracht kommt, von diesem Mittel zur Wellenvergrößerung nur mit Vorsicht Gebrauch gemacht werden können.

7. Sender mit Endkapazität. Die Fernwirkung läßt sich durch Anbringung von Flächenkapazitäten an den Spitzen der Sendeleiter innerhalb bescheidener Grenzen verstärken, doch ist damit immer eine wesentliche Aenderung der Wellenlänge verbunden.

Befindet sich am Ende eines geradlinigen Schwingungsleiters *l* (Fig. 75) eine Flächenkapazität *Cf* und ersetzt man diesen kombinierten Sender durch einen einfachen Marconidraht von gleicher Schwingungs-

Digitized by Google

frequenz, so muß dessen Länge $\frac{\lambda}{4}$ betragen. Bezeichnet i_l die maximale Stromstärke und q_l die maximale Ladung pro Längeneinheit des Drahtes in der Entfernung l von der geerdeten Funkenstrecke, so ist

$$i_l = i_0 \cos \frac{2\pi}{\lambda} l$$

$$q_l = q_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} l$$

worin i_0 und q_0 die zeitlichen Maximalwerte an den Enden des Drahtes $\frac{\lambda}{4}$ bedeuten. Ist nun v die Geschwindigkeit, mit welcher die Ladung am Drahte wandert, so muß nach einer Viertelperiode die vorher am Drahtende vorhandene Ladung q_0 an der Erdungsstelle in die Strömung i_0 übergegangen sein, d. h.

$$q_0 v = i_0$$

und

$$q_l = \frac{i_0}{v} \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l.$$

Die Flächenkapazität Cf muß so groß sein, daß sie jeden Moment die auf dem abgeschnittenen Drahtstücke $\frac{\lambda}{4} - l$ vorhandene Ladung aufnimmt, d. h.

$$Q = \int_l^{\frac{\lambda}{4}} q_l \, dl = \frac{i_0}{v} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{\lambda} l.$$

Auf der anderen Seite muß das Potential V an der Schnittstelle ungeändert bleiben, mithin

$$V = \frac{q_l}{c} = \frac{i_0}{cv} \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l$$

sein, wenn c die Kapazität der Längeneinheit des Drahtes bezeichnet.

Die Flächenkapazität wird demnach den Wert haben müssen:

$$Cf = \frac{Q}{V} = \frac{c\lambda}{2\pi} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} l}$$

oder

$$\frac{cl}{Cf} = \frac{2\pi l}{\lambda} \operatorname{tg} \frac{2\pi l}{\lambda}. \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

Digitized by Google

Bei sehr großer Flächenkapazität Cf gegenüber der Drahtkapazität cl läßt sich die Tangente durch den Winkel ersetzen und es wird

$$\lambda = 2\pi \sqrt{Cf\frac{l}{c}}.$$

Da $\frac{l}{c}$ der Wert des Selbstinduktionskoeffizienten ist, so führt diese Rechnung auf die Thomsonsche Formel

$$\lambda = 2\pi \sqrt{CfL},$$

worin L den Selbstinduktionskoeffizienten für gleiche Stromverteilung bedeutet, also der Annäherung entspricht, daß der Leiter l als kapazitätslos anzusehen ist.

Für die praktische Anwendung liegt der Fall aber gerade umgekehrt, d. h. es wird die Drahtkapazität immer wesentlich größer sein als die anzubringende Flächenkapazität.

Um hier die Wellenlänge voraus zu berechnen, bieten sich zwei Wege und zwar indem man entweder die transzendente Gleichung durch Näherung löst oder die Drahtkapazität $Cd = lc$ und den der Ladungsverteilung entsprechenden Formfaktor ξ einführt:

$$\lambda = 2\pi l \sqrt{\frac{Cf}{\xi Cd}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Gl. (1) liefert aus erst später ersichtlich werdenden Gründen zutreffendere Werte.

Zur Lösung der transzendenten Gleichung kann man sich entweder einer kleinen Kurventafel ($y = x \operatorname{tg} x$) oder eines von Regierungsbaumeister Skutsch angegebenen Apparates bedienen. Dieser Apparat ist auch in den Mitteilungen Slabys eingehend beschrieben.

Um die Richtigkeit der abgeleiteten Formeln zu überprüfen, wurde folgender Versuch angestellt.

Ein 20 m langer, an der Funkenstrecke geerdeter Draht l (Fig. 76) wurde am anderen Ende mit Kapazitäten in Form von Messingkugeln mit dem Durchmesser von 60 und 30 cm versehen und sodann unter steter Verkürzung des Drahtes die Wellenlänge gemessen. Die Kapazität der Kugeln wurde, da der Versuch im geschlossenen Raume durchgeführt wurde und daher anzunehmen war, daß sie hier größer sei als die berechnete, kontrolliert. Die Kugelkapazitäten wurden mit den so bestimmten Werten in Rechnung gestellt.

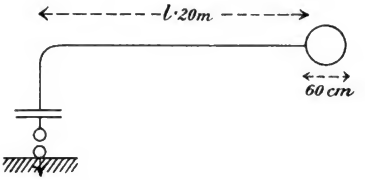
Der Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Wellen-

Digitized by Google

länge zeigte eine ziemlich genaue Uebereinstimmung, indem der Höchstunterschied, und dies nur in einem einzigen Falle, 1,5% betrug, wogegen sich der Unterschied im allgemeinen zwischen 0 und 1% bewegte.

Marconi hat bei seinen Versuchen mit Endkapazitäten in Form von großen Zinkzylindern stets eine Steigerung der Fernwirkung erzielt und ist dies nach den vorstehend gegebenen Erörterungen aus zwei Gründen erklärlich, indem durch die Endkapazitäten bei gegebener Sendelänge einerseits die Ladungsenergie, anderseits die linear schwingende mittlere Stromstärke vergrößert wird. Es würde sonach die Anbringung von Endkapazitäten ein vortreffliches Steigerungsmittel

Fig. 76.



für die Fernwirkung abgeben, wenn nicht die technischen Schwierigkeiten der Anbringung ein Hindernis für deren Gebrauch bilden würden.

Die Beglaubigung der Tangentenformel hat jedoch eine besondere Bedeutung, da sie, wie später gezeigt wird, zur Berechnung der indirekt erregten Sender herangezogen werden kann.

II. Indirekt erregte Sender. Schwieriger als die Verlängerung der Wellen eines Marconisenders ist deren Verkürzung und nur ausführbar mit Kondensatoren, welche in den Schwingungsleiter eingeschaltet werden.

Um, was von großer praktischer Bedeutung ist, festzustellen, ob die mit Hilfe langsamer Schwingungen (Telephonbrückenmethode) gemessenen Kapazitäten auch für die schnellen Schwingungen der Funkentelegraphie zutreffen, wurden diesbezüglich mit vervollkommneten Mitteln eingehende Untersuchungen durchgeführt.

1. Abhängigkeit der Flaschenkapazität von der Schwingungsfrequenz. Zur Untersuchung gelangten drei Arten von Kondensatoren und zwar a) Luftkondensatoren aus kreisrunden Messing-

Digitized by Google

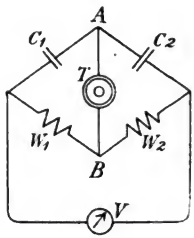
platten von 20 cm und 1 m Durchmesser, die mit Hilfe von Ebonitklötzen in beliebigen Abständen aufgestellt werden konnten, b) Leidener Flaschen der gebräuchlichen Anordnung und c) Blechplatten, die in einer Mischung von Wachs, Paraffin und Harz vollkommen eingebettet sind (Fig. 77).

Die letzteren Kondensatoren sollen sehr bequem sein, sich leicht reparieren lassen und keine Verluste durch Ausstrahlung, wie solche bei Leidener Flaschen sehr stark auftreten, aufweisen, was für funkentelegraphische Sender von Wichtigkeit ist. Diese von Grisson & Co. in Hamburg gelieferten Kondensatoren werden kurz als Grissonkondensatoren bezeichnet werden.

Zur Messung der Kapazitäten diente eine Telephonbrücke mit Kurbelrheostaten von der Anordnung Fig. 78. Statt, wie dies ge-

Fig. 77.

Fig. 78.



wöhnlich geschieht, ein gewöhnliches Induktorium mit Selbstunterbrecher zu verwenden und die Brücke mit dem Sekundärstrom zu speisen, empfiehlt es sich zur Messung kleiner Kapazitäten bis zu 10 cm der Brücke direkt unterbrochenen Gleichstrom zuzuführen und die Erregerspannung von den gebräuchlichen 1 bis 2 Volt auf etwa 16 Volt zu erhöhen.

Ist die Brücke abgestimmt, verstummt sonach das Telephon, so sind die Produkte der gegenüberliegenden Widerstände gleich, d. h.

$$\frac{1}{C_1 \omega} \cdot W_2 = \frac{1}{C_2 \omega} W_1$$

oder

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{W_1}{W_2}.$$

Digitized by Google

Als Normalkondensator gelangte ein solcher der Firma Siemens & Halske von 0,0005 Mikrofarad in Hintereinanderschaltung zur Verwendung.

Zur Ermittlung des Frequenzfaktors der Grissonkondensatoren wurden diese mit den bereits erwähnten Spulen (I, 6) unter Anwendung möglichst kurzer Verbindungsdrähte, deren Selbstinduktion gegenüber den Spulen vernachlässigt werden konnte, zu einem Kreise geschaltet.

Der Reduktions- oder Frequenzfaktor γ stellt das Verhältnis der Kapazitäten für schnelle und langsame Schwingungen dar und betrug für den Grissonkondensator für Wellenlängen $\frac{\lambda}{2} = 10$ m, 0,54 und für Wellenlängen $\frac{\lambda}{2} = 90$ m, 0,91. In den Zwischenlagen ergeben sich entsprechende Mittelwerte. Es zeigt sohin der Grissonkondensator ein ähnliches Verhalten wie die Leidener Flaschen.

Nach den Untersuchungen läßt sich der Reduktionsfaktor für diese Kondensatoren durch die Formel

$$\gamma = \frac{\frac{\lambda}{2}}{\frac{\lambda}{2} + 8{,}56}$$

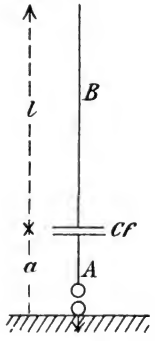
wiedergeben, worin λ die Wellenlänge in Meter bedeutet.

Die Messungen an einem großen Luftkondensator von 1 m Durchmesser und 5 cm Plattenabstand ergaben eine geringe Abhängigkeit der Kapazität von der Frequenz und ist sonach der Reduktionsfaktor für nahezu alle Fälle nahe an 1.

Glaskondensatoren (Leidener Flaschen) zeigen ein verschiedenes Verhalten und haben Reduktionsfaktoren zwischen 1 und 0,9. Ob dies von der Glassorte oder dem verwendeten Klebemittel abhängt, ist noch nicht entschieden.

2. Der elektrisch erregte oder Kondensatorsender. Bei einem Marconisender von der Länge l in Verbindung mit einem Kondensator Cf, der nicht unmittelbar durch die Funkenstrecke geerdet ist (Fig. 79), ergeben sich äußerst komplizierte Schwingungsverhältnisse. Es bilden sich im allgemeinen drei verschiedene Wellen aus, deren Längen von l, a und Cf abhängig sind.

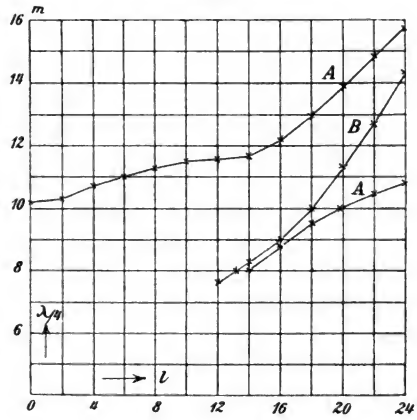
Fig. 79.



Digitized by Google

Nachfolgender Versuch legt dies klar: $Cf = 20$ cm Luftkondensator, $a = 8$ m, $l = 24$ m. l wurde nach und nach von 24 m bis 0 verkürzt. In Fig. 80 sind die an A und B gemessenen Wellen für verschiedene Drahtlängen l aufgetragen. An der geerdeten Kondensatorseite A waren von $l = 24$ m bis $l = 14$ m zwei Wellen zu messen. Die größere ließ sich bis $l = 0$, die kleinere nur bis $l = 14$ deutlich abmessen. Die größere Welle ist nur an A, die kleinere auch an B meßbar. Zwischen beiden verläuft die eigentliche Draht- oder B-Welle, welche sich über $l = 24$ an die größere A-Welle und nach unten hin für $l = 14$ an die kleinere A-Welle anschließt.

Fig. 80.



Amplitude und Wellenlänge ändern sich mit a und Cf, aber das Bild des Wellenverlaufes bleibt immer das gleiche.

Für die Abstimmung, welche nur einwellige Sender erfordert, ist diese Anordnung demnach nicht verwendbar. Macht man hingegen $a = 0$, d. h. erdet man den Kondensator direkt über die Funkenstrecke (Fig. 81), so verschwinden die A Wellen fast vollständig, während die Drahtwelle B sich kräftig entwickelt. Die Wellenlänge ist jedoch geringer als die der mit dem einfachen Sender erzeugten Marconiwelle. Hierdurch lassen sich bei Anwendung entsprechender Kapazitäten innerhalb gewisser Grenzen beliebige Wellenverkürzungen erzielen.

Digitized by Google

Eine Absuchung des Drahtes zeigt, daß sich in einem gewissen Abstande vom Kondensator ein Spannungsknoten O ausbildet. Je größer die Kapazität des Kondensators, desto näher rückt der Knotenpunkt an diesen heran und würde ihn für $Cf = \infty$ erreichen.

Aus zwei Versuchsreihen mit den Kapazitäten $Cf = 150$ und 300 cm (Leidener Flaschen mit dem Reduktionsfaktor 1), bei welchen die Wellenlängen gemessen wurden, läßt sich nun folgende einfache Berechnung ableiten: Bezeichnet x den Abstand des Knotenpunkts von der Flasche $= l - \frac{\lambda}{4}$ und trägt man die Quadrate der Wellenlänge für die zwei Werte von Cf als Funktion von x auf, so ergeben sich zwei Gerade, die durch den Anfangspunkt des Koordinatssystems gehen

Fig. 81.

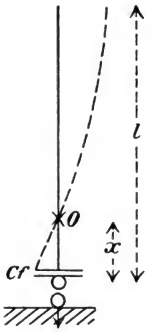
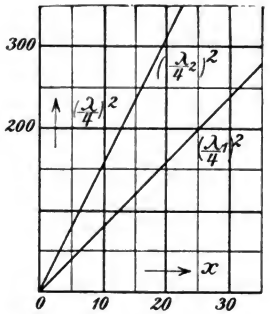


Fig. 82.



und deren Ordinaten sich wie 1 : 2 verhalten (Fig. 82). Hieraus folgt, daß die Wellenlänge der Formel

$$\lambda = 2\pi \sqrt{Cf \,.\, Lx}$$

entspricht, wenn Lx den Selbstinduktionskoeffizienten des Abschnitts x bezeichnet.

Es läßt sich demnach der Schwingungsvorgang in zwei Teile zerlegt und der Spannungsknoten O an eine ideale Erde gelegt denken. Es schwingt dann der Draht vom freien Ende bis zu diesem Knoten in einer Viertelwelle gemäß

$$\frac{\lambda}{4} = \sqrt{Cd \,.\, Ld} = l - x$$

Digitized by Google

und das Stück x mit der Endkapazität Cf belastet in einer Viertelwelle gleicher Größe. Bei dem erwähnten Versuche war die Drahtkapazität von x gegenüber der Endkapazität Cf zu vernachlässigen.

Ist dies jedoch nicht der Fall, so ist zur Berechnung die in I, 7 gegebene genauere Formel

$$\frac{c}{Cf} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \frac{2\pi x}{\lambda},$$

zu verwenden, in welcher c die Drahtkapazität pro Zentimeter bezeichnet.

Man kann an Stelle der Erdung des Spannungsknotens O auch annehmen, daß im Abstande $2x$ (Fig. 83) eine gleiche symmetrische Kapazität Cf angebracht ist, welche den freischwingenden Draht $l - 2x$ zu ersetzen vermag. In diesem Falle ist der Selbstinduktionskoeffizient mit dem doppelten, die Flaschenkapazität aber wegen der Hintereinanderschaltung nur mit dem halben Werte wie vorhergehend in Rechnung zu stellen, so daß sich an der vorstehenden Formel nichts ändert.

Fig. 83.

Um die Wellenlängen nach dieser Methode berechnen zu können, ist die Kenntnis des Selbstinduktionskoeffizienten pro Zentimeter Drahtlänge Bedingung und ist er daher vorher zu bestimmen.

Durchgeführte Kontrollversuche zeigten eine nahezu vollständige Uebereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Wellenlängen. Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß die Kapazität des Drahtes pro Zentimeter nach der Formel

$$l = \sqrt{CL}$$

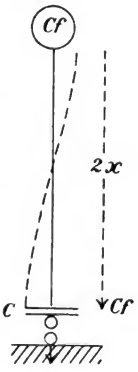
(I, 3) berechnet nur einen Wert von 0,0457 ergab, während die Messungen am frei ausgespannten Draht einen solchen von 0,06 cm lieferten. Dieser anscheinende Widerspruch klärt sich jedoch durch die häufig gemachte Beobachtung auf, daß bei einem unter starker Hochfrequenz stehenden Drahte, der an einem Ende mit einer Flächen- oder Flaschenkapazität belastet ist, im Dunklen das in der Nähe des Kondensators befindliche Drahtstück nicht leuchtet, wie dies sonst der Fall ist, wobei sich je nach der Größe der Kondensatorkapazität der dunkle Teil auf $^1/_2$ bis 2 m erstreckt. Der Kondensator bedingt sonach ein stärkeres Fließen der Elektrizität und damit eine Verminderung der Drahtkapazität. Diese Kapazitätsverminderung tritt immer ein und ist bei

Digitized by Google

der Berechnung dann wohl zu berücksichtigen, wenn die Drahtlänge gegenüber der Kondensatorkapazität nicht sehr groß ist.

Vergleichende Rechnungen und Messungen für zwei Luftkondensatoren durchgeführt, ergaben gleichfalls übereinstimmende Ergebnisse, indem die mittlere Abweichung für Kondensatoren von 100 und 200 cm Kapazität + 0,5 bezw. + 0,94 % betrug.

Fig. 84.



Bei einem Grissonkondensator von 125 cm Kapazität war der Unterschied etwas größer, indem die berechnete Wellenlänge im Mittel um 1,37 % kleiner war als die gemessene.

Diese geringere Uebereinstimmung zwischen Messung und Rechnung läßt sich wohl darauf zurückführen, daß die Metallplatten auf beiden Seiten vom Dielektrikum umgeben sind, wodurch sich die Gesamtkapazität bei Hintereinanderschaltung der beiden Schwingungskreise etwas vergrößert.

Führt man den in II, 1 ermittelten Reduktionsfaktor des Grissonkondensators in die Rechnung ein, so erhält man wesentlich größere Abweichungen. Hieraus zieht sich der Schluß, daß die Schwingung des Systems durch das zwischen den Platten liegende Dielektrikum nicht hindurchgeht, der Kondensator vielmehr wie eine einfache Endkapazität wirkt. Die Uebereinstimmung zwischen Messung und Rechnung ist jedoch auch hier für praktische Zwecke mehr als ausreichend.

Bei den in Rede stehenden Versuchen wurde noch festgestellt, daß die Wellenlänge eines solchen Senders unverändert bleibt, wenn im Abstand $2x$ eine der Flaschenkapazität gleiche Raumkapazität (Kugel) angebracht wird (Fig. 84). Es wurde zu diesem Zwecke ein Luftkondensator von 33 cm mit der geerdeten Funkenstrecke und einem 10 m langen Draht verbunden. Die Viertelwellenlänge betrug 7 m, somit war $x = 3$ m. Wurde nun im Abstande 6 m vom Kondensator eine Kugel gleicher Kapazität angehängt, so blieb die Wellenlänge ungeändert.

In der praktischen Anwendung dieses Verfahrens zur Wellenverkürzung hat man es jedoch zumeist nicht mit einfachen Sendedrähten, sondern mit komplizierteren Sendegebilden größerer Kapazität zu tun.

Um die Richtigkeit der Vorausbestimmung der Wellenlänge nach

Digitized by Google

der angegebenen Methode auch für solche Sendeleiter zu überprüfen. wurde eine Harfe von 26 m Länge mit sechs blanken Paralleldrähten von 0,8 mm Dicke und 10 cm Abstand gewählt. Die Länge einer Viertelwelle betrug 26 m. Die Welle sollte nun durch Vorschalten von Kondensatoren um 40, 30, 20 und 10 % verkürzt werden.

Die Drahtkapazität konnte hier gegen die Kondensatorkapazität nicht vernachlässigt werden und wurde somit zur Berechnung die exaktere Formel

$$\frac{cx}{Cf} = \frac{2\pi x}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \frac{2\pi x}{\lambda}$$

angewendet. c ist hierin die Kapazität des mit dem Kondensator verbundenen Harfenteiles x. c_1 wie für den einfachen Draht gleich 0,0457 und der Entelektrisierungsfaktor für sechs Drähte von 10 cm mit $\alpha = 0{,}45$ gesetzt (I, 4) erhält man für

$$c = 6 \,.\, 0{,}0475 \,.\, 0{,}45 = 0{,}123.$$

Der Wert von c wird aber wahrscheinlich durch die Größe des Kondensators beeinflußt. Um dies nachzuweisen, wurde die Harfe mit genau bemessenen Luftkondensatoren erregt, die Wellenlänge jedesmal gemessen und c aus der Tangentenformel berechnet. Die gefundenen Werte von c schwankten zwischen 0,1 und 0,14 und stimmen daher in der Größenordnung mit dem berechneten Werte überein. Für die weitere Rechnung wurde der genaue Mittelwert von $c = 0{,}111$ benutzt. Die jeder Verkürzung entsprechenden Kapazitätswerte berechnet und dementsprechende Kondensatoren in die Luftleitung eingeschaltet, ergaben nach Messung der zugehörigen Wellenlängen, daß die tatsächlich erhaltenen Wellenlängen nur etwas kleiner waren als die berechneten, somit sich diese Art der Vorherbestimmung auch für kompliziertere Sendegebilde eignet.

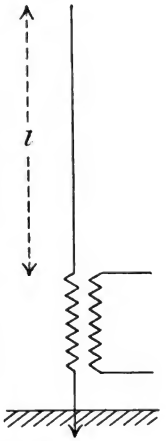
Auch hier zeigte es sich wieder, daß die Grissonkondensatoren wegen der äußeren Bedeckung der Platten mit dem Dielektrikum etwas höhere Werte liefern, und daß deren inneres Dielektrikum unbeteiligt bleibt, da der Frequenzfaktor nicht berücksichtigt wurde. Die Versuche zeigten, daß sowohl mit Luft- und Grissonkondensatoren, als auch mit Leidener Flaschen die Wellenverkürzung erzielt werden kann.

3. Der magnetisch erregte oder Transformatorsender. Die indirekt durch einen Teslatransformator, dessen Primärwicklung mit Hochfrequenzstrom gespeist wird, erregten Marconisender (Fig. 85) sind, wie Theorie und Praxis übereinstimmend erweisen, niemals eintönig. Selbst bei sorgfältigster Abstimmung der Frequenz des Primär-

Digitized by Google

stromes auf die Eigenwelle des Sendedrahtes mit angehängter Sekundärspule, liefert die Kopplung stets zwei Wellen, welche in Frequenz und Amplitude nicht nur voneinander, sondern auch von der Grundwelle verschieden sind. Es erfährt die Belastung der Einzelsysteme durch die Kopplung eben eine Aenderung.

Fig. 85.



Dadurch, daß man die Kopplung lose, d. h. die Streuung des Transformators übermäßig groß macht, läßt sich allerdings eine angenäherte Eintönigkeit erzielen, aber der Wirkungsgrad der Uebertragung wird minimal und der Sender für nennenswerte Fernleistungen unbrauchbar. Da jedoch nur eintönige Sender ins Auge gefaßt werden sollen, ist diese Art von Sendern hier auszuscheiden.

Der Transformatorensender erweist sich jedoch noch aus dem Grunde minderwertig, weil der Formfaktor (I, 6) des Stromes im eigentlichen Sendedrahte durch die Spule stark herabgedrückt wird und ein großer Teil der Schwingungsenergie in der Spule verbleibt und damit unwirksam gemacht ist. Die hier auftretende geringere Dämpfung hat mit der Transformation an und für sich nichts zu schaffen und kann in wirkungsvollerer Weise auch bei eintönigen Sendern erreicht werden.

III. Sender mit verminderter Dämpfung. Der Entladungsstrom eines Kondensators in einem aus Widerstand und Selbstinduktion gebildeten Kreise folgt dem Gesetze:

$$J = Q_0 \omega e^{-\frac{W}{2L} t} \cdot \sin \omega t,$$

worin Q_0 die anfängliche Ladung des Kondensators und

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}} = \frac{2\pi}{T}$$

ist.

Die Ladung des Kondensators verändert sich gleichfalls nach einem Sinusgesetze mit einer zeitlichen Phasenverschiebung $\frac{\pi}{2}$ gegenüber den Schwingungen des Stromes. Das gleiche gilt von der Spannungsdifferenz am Kondensator

Digitized by Google

$$V = \frac{Q_0}{C} \cdot e^{-\frac{W}{2L}t} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Das Glied $e^{\frac{W}{2L}\cdot t}$ gewinnt mit der Zeit zunehmenden Einfluß und bedeutet eine fortdauernde Abnahme der Amplituden, die sogenannte Dämpfung der Schwingungen.

Die vollständige Entladung des Kondensators findet während der ersten Viertelperiode der Schwingungen statt. Wird für diese Zeit die Dämpfung vernachlässigt und der erste Maximalwert des Stromes mit J_0 bezeichnet, so ist der Mittelwert des ersten Entladungsstromes

$$M(J) = \frac{2}{\pi} J_0$$

und

$$Q = \frac{2}{\pi} J_0 \cdot \frac{T}{4} = \frac{J_0}{\omega} = V_0 C.$$

Der Wert des Funkenpotentiales V_0 ist bekannt, sonach läßt sich J_0 berechnen:

$$J_0 = V_0 C\omega = V_0 \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Aus dieser Beziehung folgt weiters

$$\frac{V_0^2 C}{2} = \frac{J_0^2 L}{2}.$$

$\frac{V_0^2 C}{2}$ stellt die im Kondensator angesammelte Ladeenergie und $\frac{J_0^2 L}{2}$ die während der ersten Viertelperiode zur Ausbildung des räumlichen magnetischen Kraftfeldes aufgewendete Energie dar. Wird letztere nach Maxwell als Wirbelenergie eines mit Trägheit begabten magnetischen Mediums und die erstere als eine der Spannkraft einer Feder ähnliche potentielle Energie aufgefaßt, so stellt sich der gesamte Schwingungsvorgang als ein stetes Pendeln der Energie zwischen diesen beiden Formen dar.

Die für einen bestimmten Fall rechnerisch ermittelte außerordentlich große Stromstärke, mit welcher die erste Entladungswelle bei Abwesenheit von Dämpfung auftreten würde, kann nun weder tatsächlich entstehen, noch bei dem dauernden Wechsel der Energieform aufrecht bleiben. An der Abnahme sind vier Ursachen beteiligt, die unter dem allgemeinen Begriff der „Dämpfung" zusammengefaßt, hier aber getrennt werden müssen.

Digitized by Google

Zwei Verluste entstehen durch den Ohmschen Widerstand des Stromkreises und zwar einerseits in der Drahtleitung und anderseits in der Funkenstrecke. Beide Verluste treten schon bei dem Entladungsstrom der ersten Wirbelwelle auf und äußern sich in Wärmewirkungen. Auf sie allein bezieht sich das Dämpfungsglied der vorstehenden Formeln.

Die beiden anderen Verluste entstehen bei dem Wechsel der Energieformen und sind elektrischer und magnetischer Natur. Die elektrischen Verluste treten an allen Stellen auf, wo die zulässige Flächenspannung überschritten wird, also an den Spitzen und Kanten der Drähte, an den scharfen Rändern der Kondensatorbelegungen und zwar zum Teil durch Streuung elektrischer Kraftlinien, zum anderen Teile durch dielektrische Häresie, d. i. durch Erwärmung der Kondensatoren, bedingt durch die Leitfähigkeit des Dielektrikums. Der zweite Verlust entsteht durch die Streuung der magnetischen Kraftlinien, die ihre Wanderung durch den Raum antreten und die Nutzarbeit des funkentelegraphischen Senders darstellen, welche bei offenen Schwingungskreisen mit linearen Leitern am größten ist.

Die rein elektrischen Verluste lassen sich durch entsprechende Maßnahmen weit herabdrücken, bei den Verlusten durch den Ohmschen Widerstand ist dies jedoch nur in beschränkter Weise möglich.

Das Dämpfungsglied der gegebenen Formel hängt nur vom Widerstande, aber nicht auch von der Kapazität oder Selbstinduktion ab.

Der Quotient zweier unmittelbar folgenden Maximalamplituden ist das sogenannte Dämpfungsverhältnis

$$\frac{e^{-\frac{W}{2L}t}}{e^{-\frac{W}{2L}(t+T)}} = e^{\frac{W}{2L}\cdot T}.$$

Je größer dieser Quotient ist, desto größer wird die Dämpfung, desto rascher nehmen die Maximalamplituden ab. Es genügt hier den Exponenten allein ins Auge zu fassen und als Dämpfung zu definieren

$$D = \frac{W}{2L}\,T.$$

Setzt man

$$T = 2\pi\sqrt{CL}$$

und

$$\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{J_0}{V_0},$$

so wird

Digitized by Google

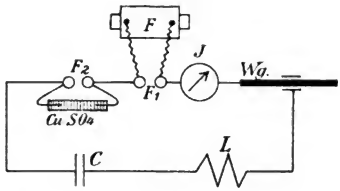
$$D = \pi W \sqrt{\frac{C}{L}} = \pi \frac{W . J_0}{V}.$$

Es ist sonach bei gegebenem Ladungspotential die Dämpfung dem durch den Widerstand bedingten Spannungsverlust proportional. Es kommt hier nur der Widerstand der Leitung und der Widerstand der Funkenstrecke in Betracht. Der Widerstand der Leitung für schnelle Schwingungen ist, weil der Strom nicht in das Innere der Leitung eindringt (Skineffekt), größer als für Gleichstrom. Der Widerstand der Leitung berechnet sich nach Rayleigh annähernd durch

$$W = W_0 \gamma \pi \sqrt{\frac{n}{\sigma}},$$

worin W_0 den Gesamtwiderstand, σ den spezifischen Widerstand für Gleichstrom, γ den Drahthalbmesser und n die Frequenz bezeichnet.

Fig. 86.



Für einen Marconisender von 40 m Länge und 3 mm Dicke bei 160 m Wellenlänge beträgt die Dämpfung durch den Kupferwiderstand für die Periode 0,8 %, ist daher geringfügig.

Wesentlich größeren Einfluß hat dagegen der Widerstand der Funkenstrecke, der sich in folgender Weise messen läßt. In einem Kapazität und Selbstinduktion enthaltenden Schwingungskreis wird außer der erregenden Funkenstrecke F_1 noch eine Meßfunkenstrecke F_2 (Fig. 86) und ein regulierbarer Graphitwiderstand Wg eingeschaltet. Um das Ladungspotential von der Meßfunkenstrecke unabhängig zu machen, wird die letztere durch einen elektrolytischen Widerstand (Röhre mit $CuSO_4$-Lösung von 410 Ohm) kurzgeschlossen. Die Hochfrequenzströme der Entladung nehmen ihren Weg nicht über diesen Widerstand, sondern gehen direkt über die Meßfunkenstrecke. Für die Messung werden vorerst Graphitwiderstand und Meßfunkenstrecke kurzgeschlossen und der Primärkreis des Induktoriums F so reguliert, daß

Digitized by Google

das eingeschaltete Hitzdrahtinstrument J einen maximalen Ausschlag gibt. Nun wird die Meßfunkenstrecke wieder eingestellt, allmählich vergrößert und deren Länge ef als Funktion des Schwingungsstromes ermittelt. Das gleiche erfolgt bei kurz geschlossener Funkenstrecke unter Veränderung des Graphitwiderstandes Wg. Man erhält hier-

Fig. 87.

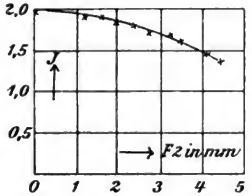
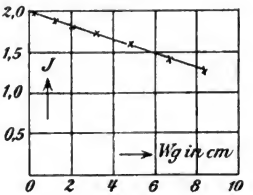


Fig. 88.



durch zwei Kurven $J = f\ (ef)$ und $J = f\ (Wg)$. Da gleichen Stromstärken gleiche Widerstände entsprechen, folgt, daß ef eine Funktion von Wg ist. Ladespannung, Kapazität und Selbstinduktion ist bei diesen Messungen konstant zu halten.

Die Ergebnisse einer solchen Untersuchung für eine Kondensatorkapazität $C = 300$ mit einer Meßfunkenstrecke von Platinkugeln im Durchmesser von 17 mm sind in den graphischen Darstellungen (Fig. 87 bis 90) niedergelegt und läßt sich aus Fig. 90 der Ohmsche

Fig. 89.

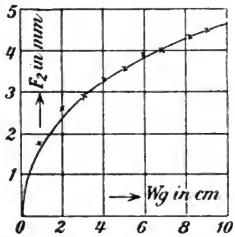
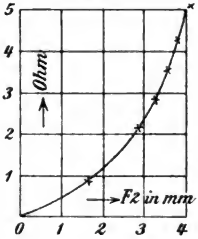


Fig. 90.



Widerstand für jede Länge der Meßfunkenstrecke bis zu 4 mm direkt ablesen.

Die Graphitwiderstände wurden mit den langsamen Pulsationen der Telephonbrücke gemessen. Es war nun anzunehmen, daß diese Widerstände bei Hochfrequenz ebenso zunehmen wie Kupferwiderstände.

Digitized by Google

Bei dem hohen spezifischen Widerstand des verwendeten Graphits von $23 \cdot 10^6$ (CGS) konnte die erwähnte angenäherte Formel von Rayleigh nicht verwendet werden und wurde auf die Reihe zurückgegriffen, welche Rayleigh allgemein für den Widerstand eines geraden zylindrischen Leiters entwickelte:

$$W = W_0 \left[1 + \frac{1}{12}\frac{\omega^2}{\sigma^2} - \frac{1}{180}\frac{\omega^4}{\sigma^4} + \ldots\right]$$

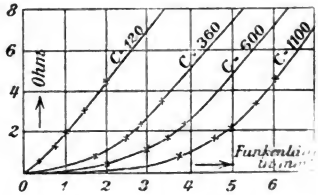
Hierin bedeutet W den Widerstand für Hochfrequenz, W_0 den Widerstand für Gleichstrom und $\omega = 2\pi n$, wenn n die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde ist, σ den spezifischen Widerstand für Gleichstrom.

Für das gegebene Beispiel ist $n = 10^6$ und wird sohin das zweite Glied der Reihe

$$\frac{1}{12}\frac{\omega^2}{\sigma_0} = 0{,}00622.$$

Die folgenden Glieder können demnach, weil noch bedeutend kleiner, vernachlässigt werden und läßt sich der gemessene Wider-

Fig. 91.



stand des Graphits auch für die schnellen Schwingungen als zutreffend ansehen.

Weitere Messungen der Widerstände der Funkenstrecke mit der gleichen Versuchsanordnung, jedoch unter Verwendung verschiedener Kapazitäten, gaben die in Fig. 91 niedergelegten Ergebnisse.

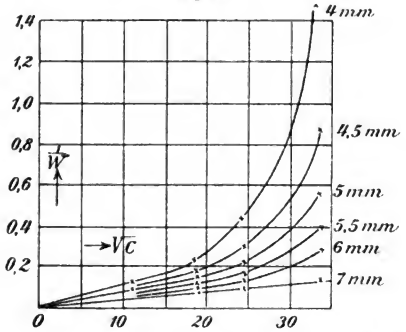
Alle diese Kurven zeigen von einer gewissen Funkenlänge ab einen linearen Anstieg. Es ergibt sich aus ihnen ferner, daß die Widerstände für gleiches Funkenpotential mit wachsender Kapazität abnehmen. Wiewohl nun die Stromstärken proportional den Wurzeln aus den Kapazitäten sind, besteht zwischen Leitfähigkeit der Funkenstrecke und der Stromstärke keine einfache Proportionalität. In Fig. 92 ist für Funkenlängen von 4 bis 7 mm die Leitfähigkeit der Funkenstrecke

Digitized by Google

$\left(\frac{1}{W}\right)$ als Funktion der Wurzeln aus den Kapazitäten aufgetragen. Danach besteht für kleine Kapazitäten, d. h. geringe Stromstärken, allerdings diese Proportionalität, für größere Stromstärken aber nimmt die Leitfähigkeit rascher zu.

Der Funkenwiderstand eines Schwingungskreises kann nach diesen Erörterungen ganz bedeutende Werte annehmen, welche den Widerstand der Leitungen um ein Vielfaches überschreiten, und wird die

Fig. 92.



Dämpfung eines Schwingungskreises durch den Widerstand der Funkenstrecke in einer Weise beherrscht, daß die übrigen Dämpfungsursachen dagegen kaum noch in Betracht kommen.

Die Untersuchung zeigt aber auch, wie der Funkenwiderstand vermindert werden kann. Aus den Kurven (Fig. 91) ergibt sich, daß bei größeren Kapazitäten der Widerstand der Funkenstrecken anfangs nur ganz langsam zunimmt und erst dann rascher ansteigt, wenn der Funke eine gewisse Länge überschritten hat. Der Widerstand der Funkenstrecke oder der Dämpfungswiderstand läßt sich sonach dadurch wesentlich herabmindern, daß man eine größere Funkenstrecke durch eine Reihe kleinerer hintereinander geschalteter Funkenstrecken ersetzt.

Nach Toepler nimmt das Funkenpotential bei kleineren Funkenstrecken nahezu proportional der Funkenlänge zu, bei größeren Längen erfolgt die Zunahme des Potentials dagegen etwas langsamer. Es läßt sich sonach das Funkenpotential von 30000 Volt bei 10 mm Kugelab-

Digitized by Google

stand durch drei hintereinander geschaltete Funkenstrecken von je 2,5 mm ersetzen, wovon jede für sich ein Funkenpotential von 10000 Volt besitzt. Die drei hintereinander geschalteten Funkenstrecken haben dagegen nur einen Widerstand von 0,6 Ohm und wird dieses Verhältnis bei größeren Kapazitäten noch günstiger.

Schon Marconi hat die geteilte Funkenstrecke nach Righi benützt, es zeigte sich aber in der Praxis, daß mit der einfachen Funkenstrecke fast die gleichen Wirkungen zu erzielen waren. Die Ursache scheint die Verwendung des Oeles als Dielektrikum gewesen zu sein, da sich bei dessen Fortlassung die Dämpfungsverhältnisse viel günstiger

Fig. 93.

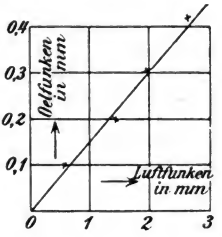
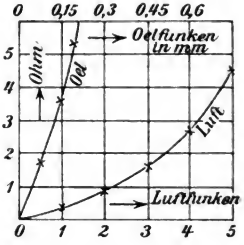


Fig. 94.



gestalten. Vergleichende Untersuchungen, deren Ergebnisse in den Fig. 93 und 94 niedergelegt sind, zeigen, daß der Luftfunke bei gleichem Funkenpotential rund siebenmal länger ist als der Oelfunke, und daß der Oelfunke bei gleichem Funkenpotential einen zehnmal größeren Widerstand hat wie der entsprechende Luftfunke.

Wenn auch bei Laboratoriumsversuchen der Ersatz der Luftfunkenstrecke durch eine solche in Oel eine außerordentliche Steigerung aller Effekte hervorruft, so ist dies ausschließlich den elektrischen oder Spannungs-, nicht aber den magnetischen Wirkungen zuzuschreiben. Die elektrischen Wirkungen sind in der Nähe viel stärker als die magnetischen, kommen aber für die eigentlichen Fernwirkungen, die lediglich durch den Strom bedingt sind und für welche die Dämpfung den größten Einfluß hat, nicht in Betracht. Oelfunkenstrecken können demnach für Zwecke der drahtlosen Telegraphie wohl nicht in Anwendung genommen werden.

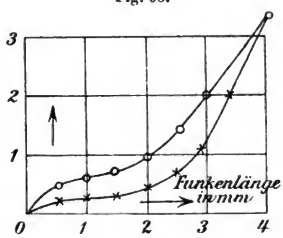
Für den Widerstand einer Funkenstrecke ist aber auch die Form und das Material der Elektroden zu berücksichtigen. Das Funken-

Digitized by Google

potential wächst mit dem Krümmungshalbmesser der Funkenkugeln, aber auch der Funkenwiderstand nimmt hierbei zu.

Die Ermittlung des Funkenwiderstandes bei Verwendung von Messingkugeln mit Durchmessern von 15 bezw. 30 mm bei gleicher Ladungsfrequenz und Schwingungskapazität zeigt (Fig. 95), daß die größeren Kugeln (obere Kurve) bei kleinen Funkenlängen auch einen

Fig. 95.



größeren Widerstand veranlassen, der sich indessen für größere Funkenlängen auszugleichen scheint.

Der den Funkenkugeln von 10 mm Durchmesser bei gegebener Funkenlänge entsprechende Widerstand in Ohm für verschiedenes Material ist nebst dem zugehörigen Funkenpotential in nachstehender Tabelle niedergelegt.

mm	Volt	Messing	Pb,	Cu	Al	Mg	Cd	Zn	Sn	Fe	Stahl	Ag	Au	Pt
0,5	2650	0,9	0,9	1,3	1,3	1,3	0,5	1,0	0,5	0,85	0,7	0,6	1,0	0,9
1,0	4800	2,4	1,83	2,85	2,8	2,8	1,5	2,2	1,2	2,2	2,0	1,5	2,1	2,0
1,5	6700	4,0	3,3	4,4	4,6	5,5	3,0	3,5	2,5	4,45	4,1	2,45	3,4	3,4
2,0	8370	5,95	5,5	6,4	7,1	9,5	5,25	5,6	4,55	7,7	6,9	3,8	5,1	5,2
2,5	9900	8,9	9,3	9,3	10,6	14,6	8,4	8,4	8,2	11,8	10,5	5,8	7,6	7,8
3,0	11370	12,8	14,6	12,6	15,5	—	12,4	12,2	13,3	16,4	15,5	8,9	11,3	11,5

Für kleinere Funkenlängen scheinen demnach Zinn, Silber, Kadmium und Blei die geeignetsten Metalle zu sein.

2. Direkt erregte Sender mit verminderter Dämpfung. Die Hauptdämpfungsursache für schnelle elektrische Schwingungen, d. i. der Widerstand der Funkenstrecke, läßt sich durch die Zerlegung der Funkenstrecke in eine Reihe von Teilfunkenstrecken von gleichmäßigem Gesamtpotential, sowie durch Vergrößerung der Stromstärke,

Digitized by Google

welche eine Verminderung des Funkenwiderstandes herbeiführt, großenteils beseitigen.

Die Energieaufnahme eines Senders findet ihre Begrenzung in der zulässigen Flächenspannung und bedeutet jede Ueberschreitung einen Verlust, indem eine Ausstrahlung elektrischer Massen (Elektronen) stattfindet. Der Schwingungsstrom in der Funkenstrecke erfährt somit gleichfalls durch die Kapazität des Sendegebildes eine bestimmte Begrenzung. Der Widerstand der Funkenstrecke und damit die Dämpfung der Schwingungen ist aber direkt von der Stromstärke abhängig. Will man daher, abgesehen von der Unterteilung der Funkenstrecke, eine Widerstandsverminderung erzielen, so muß man für eine von der Ladung des Sendegebildes unabhängige Stromverstärkung Sorge tragen. Das Mittel findet sich in der Ueberlagerung eines zweiten Stromes in der Funkenstrecke, der durch Ladung von Zusatzkapazitäten so zu erzeugen ist, daß er mit dem Nutz- oder Sendestrom in gleicher Frequenz und Phase schwingt.

Erregt man einen Doppeldraht durch eine geerdete Funkenstrecke (I, 4 Harfen- und Kegelsender), so nimmt er bei genügendem Abstand der Drähte eine Frequenz an, die mit der Frequenz der einzelnen Drähte übereinstimmt. Die Schwingungskapazitäten des einzelnen und doppelten Drahtes (CL)[1]) sind nämlich einander gleich, weil mit der Verdopplung der elektrostatischen Kapazität eine Halbierung der Selbstinduktion Hand in Hand geht. Ist jedoch der Abstand der beiden Drähte groß genug, um eine Beeinflussung durch Entelektrisierung und gegenseitige Induktion auszuschließen, so schwingt jeder Draht für sich so, als ob der andere nicht vorhanden wäre. Die Dämpfung durch die Funkenstrecke wird dagegen wesentlich verringert, weil die vorhandene Stromstärke jetzt verdoppelt ist.

Verzichtet man auf die Fernwirkung des zweiten Drahtes, indem man ihn wagrecht führt, entsprechend abschirmt oder durch eine gleichwertige Kapazität ersetzt, so bleibt dieser Vorteil dennoch bestehen und folgert sich hieraus, daß jede Sendeanordnung ohne Aenderung der Wellenlänge mit Kapazität belastet werden kann, wenn die Belastung an einem Spannungsknoten erfolgt.

Die Selbstinduktion der Funkenstrecke übt hier jedoch einigen Einfluß, da der für die Schwingungskapazität des Senders maßgebende Formfaktor (I, 5) durch die Ueberlagerung eines Stromes in der Funkenstrecke etwas vergrößert wird. Es entsteht eine Zu-

[1]) E. T. Z. 1903, S. 1008.

Digitized by Google

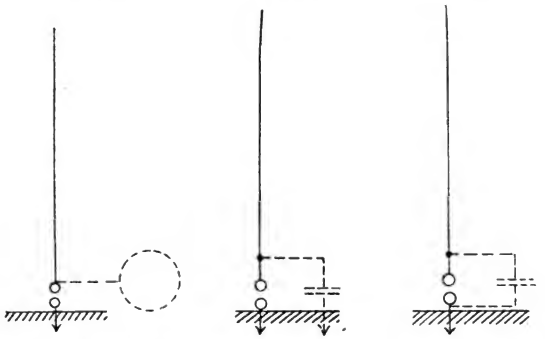
nahme der Wellenlänge, die bei starker zusätzlicher Kapazitätsbelastung 1 bis 2% betragen kann. Es ist aber immer zu erreichen, daß der beschwerte Sender eintönig bleibt, wenn nur die belastende Kapazität der Schwingungskapazität des Senders gleich gemacht wird.

Die Belastungskapazität kann ebensowohl aus Raum- oder Flächenkapazitäten (Fig. 96) bestehen, als auch durch geerdete (Fig. 97) oder die Funkenstrecke kurzschließende Kondensatoren (Fig. 98) gebildet werden. Im letzteren Falle ist die durch die Kopplung verursachte Wellenvergrößerung am kleinsten, die Verringerung der Dämpfung aber am ausgiebigsten, da man zur Abstimmung große Kapazitäten und kleine Selbstinduktionen wählen kann.

Die folgenden Versuche erweisen die Richtigkeit dieser Anschauungen.

Versuch 1. Ein linearer Sender mit einem 20 cm langen Erd-

Fig. 96. Fig. 97. Fig. 98.



draht A (Fig. 99) hatte eine Wellenlänge von 11,6 m. Wurde ein zweiter gleich langer Draht B hinzugefügt, so stieg die Wellenlänge auf 11,8 m, und beide Drähte zeigten die gleiche Welle.

Versuch 2. Ein Harfensender (Fig. 100) hatte eine Wellenlänge von $\frac{\lambda}{4} = 16{,}7$ m. Durch die Ueberlagerung eines auf die gleiche Wellenlänge abgestimmten Schwingungskreises betrug $\frac{\lambda}{4} = 16{,}9$ m. Der Sender war und blieb eintönig.

Versuch 3. Zwei völlig übereinstimmende Schwingungskreise (Fig. 101) von 6 m Umfang und einer Flaschenkapazität C = 120 cm

Digitized by Google

zeigten einzeln gemessen eine Wellenlänge $\frac{\lambda}{4} = 15{,}4$ m. Nach der Kopplung stieg die Wellenlänge auf $\frac{\lambda}{4} = 16{,}5$ m, d. i. um 7,1%, weil die Kapazitätsbelastung nicht im Knotenpunkt und die Selbstinduktion auf einer gemeinschaftlichen Länge von 100 cm stattfand. Die Kombination blieb jedoch vollkommen eintönig. Der Einfluß der

Fig. 99.

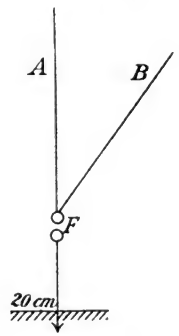
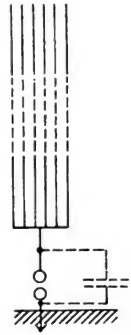


Fig. 100.



Selbstinduktion zeigt sich am deutlichsten dadurch, daß sich die resultierende Welle mit dem Winkel α (Fig. 102) ändert.

Es betrug für $\alpha = 180°, 90°, 60°, 45°, 30°, 15°$.

$$\frac{\lambda}{4} \quad 16{,}5,\ 16{,}5,\ 16{,}6,\ 16{,}7,\ 16{,}8,\ 17$$

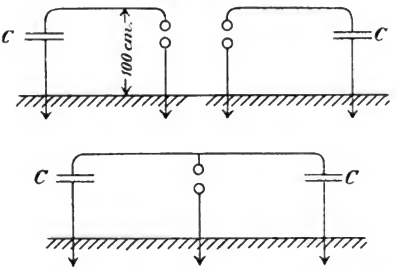
Doch bleibt auch hier die Eintönigkeit erhalten.

Um die Verminderung der Dämpfung in der Funkenstrecke nachzuweisen, wäre für die Messung des Schwingungsstromes im Sendeleiter das Hitzdrahtinstrument, welches die Integralwirkung der Ströme aller Pulsationen mißt, wohl am geeignetsten. Steigt der Ausschlag des Instrumentes bei Ueberlagerung eines abgestimmten Stromes in der Funkenstrecke, so ist dies durch die Verminderung des Dämpfungswiderstandes bedingt. Allein das Hitzdrahtinstrument ist für diesen Zweck nur dann verwendbar, wenn der Transformator bei konstanter Primärfrequenz, für die zunehmende Belastung auch konstante Ladefrequenz ermöglicht. Es können nämlich während einer halben Periode der Primärschwingungen mehrfache Ladungen der Kapazität erfolgen,

Digitized by Google

deren Anzahl bei wachsender Belastung abnimmt, bis endlich auf jede halbe Primärperiode nur eine Entladung entfällt. Das Hitzdrahtinstrument kann sonach bei starker Kapazitätsbelastung des Transformators durch den überlagerten Schwingungskreis unter Umständen kleinere Werte angeben, als der verminderten Dämpfung der Partial-

Fig. 101.

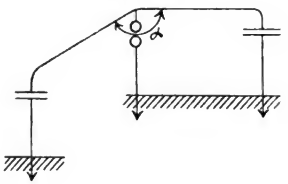


schwingungen entsprechen würde, weil die Zahl der Entladungen pro Zeiteinheit zurückgegangen ist.

Diesbezügliche Versuche brachten dementsprechend auch nicht die gewünschten und erwarteten Ergebnisse. Ohne auf die Verwendung des Hitzdrahtinstrumentes zu verzichten, wurde nun folgende Methode zur Anwendung gebracht.

Bei gleicher Kapazitätsbelastung und gleicher Ladefrequenz sind

Fig. 102.



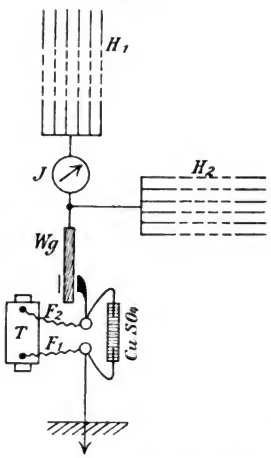
die Ausschläge des Instrumentes unzweifelhaft der Dämpfung umgekehrt proportional. Bestimmt man daher die Dämpfung durch den Widerstand einer hinter der Erregerfunkenstrecke geschalteten Meßfunkenstrecke in der bereits bekannten Weise, daß man ihn mit einem Graphitwiderstand vergleicht, so erhält man für verschiedene Kapazi-

Digitized by Google

tätsbelastungen Zahlen, die von der Ladefrequenz unabhängig sind, daher gegenseitig verglichen werden können. Das Hitzdrahtinstrument dient hierbei nur zum Vergleiche innerhalb einer Versuchsreihe bei konstanter Kapazitätsbelastung und damit auch konstanter Ladefrequenz.

Zum Versuche wurde eine Harfe H_1 (Fig. 103) mit 10 Paralleldrähten und einer Kapazität von 153 cm zuerst allein der Messung unterworfen und der gefundene Meßfunkenwiderstand für Längen der Erregerfunkenstrecke von 5, 10 und 15 mm, als Funktion der Funkenlänge die Meßfunkenstrecke, durch Vergleich mit dem Graphitwiderstand Wg abgeleitet. Es wurden hierdurch die in den Fig. 104 bis 106 mit A bezeichneten Kurven erhalten.

Fig. 103.



Sodann wurde eine zweite Harfe H_2 von den ganz gleichen Abmessungen der gleichen Kapazität unter 90° gekoppelt und der Widerstand und die Meßfunkenstrecke in gleicher Weise ermittelt. Die Kurven B geben die Widerstandswerte für diese Anordnung. Ein Vergleich der Kurven A und B läßt die Verringerung der Dämpfung der Erregerfunkenstrecke durch die übergelagerten Ströme erkennen.

In diesem Falle war die Gleichheit der Frequenz und Phase der übergelagerten Ströme durch die Gleichheit der verkoppelten Harfen gewährleistet. Wird jedoch der übergelagerte Strom durch einen mit der Funkenstrecke gekoppelten Schwingungskreis erzeugt, so ist dieser sorgfältig auf die gleiche Frequenz abzustimmen. Versuche zeigten, daß durch Kopplung mit einem verstimmten Schwingungskreise für den überlagerten Strom die Dämpfung unter Umständen statt verringert, vergrößert werden kann.

Erfolgt die Kopplung in der Funkenstrecke, so ist eine geringe Zunahme der Wellenlänge (1—2 %) zwar unvermeidlich, wegen der Aenderung der Selbstinduktion in der Funkenstrecke, der Sender bleibt aber immer eintönig. Um zu untersuchen, ob diese Eintönigkeit auch

Digitized by Google

dann erhalten bleibt, wenn der der Kopplung dienende gemeinsame Teil eine größere Selbstinduktion besitzt, wurde ein linearer Sender aus 0,8 mm dickem blanken Kupferdraht von 10 m Länge bei A (Fig. 107) durch die Funkenstrecke erregt und mit demselben ein Draht $Bd = BC = l$ rechtwinklig gekoppelt. Bei verschiedener Lage

Fig. 104.

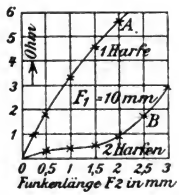
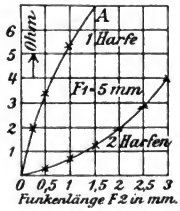
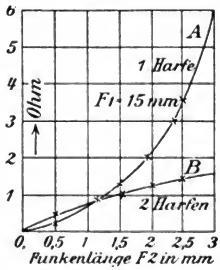


Fig. 105.



des Anschlußpunktes B, also verschiedenen gemeinschaftlichen Längen $AB = a$ wurde die Wellenlänge des Systemes mit dem Multiplikationsstabe gemessen. Der Sender blieb vollständig eintönig, dagegen nahm die resultierende Welle bei wachsendem a beträchtlich zu. Es ist diese Wellenvergrößerung für alle kombinierten Systeme, welche eine

Fig. 106.



größere gemeinschaftliche Selbstinduktion umfassen, charakteristisch und erklärt sich die Grundursache wie folgt.

Wird der Sender als aus zwei einzelnen Schwingungsbahnen ABC und ABD bestehend betrachtet, so haben diese vor der Kopplung gleiche Schwingungskapazität, sind also elektrisch identisch und geben einzeln erregt gleiche Wellenlängen. Sind C und L die Kapazität

Digitized by Google

und Selbstinduktionskoeffizienten für konstante Spannungs- und Stromverteilung, so berechnet sich die Wellenlänge nach I, 2 aus

$$\frac{\lambda_0}{4} = \sqrt{C L}$$

oder

$$\frac{\lambda_0}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{C' L'},$$

worin

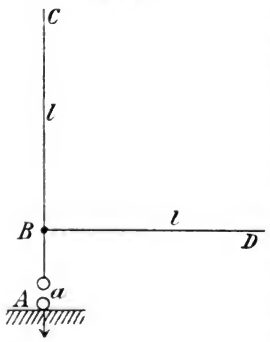
$$C' = \frac{2}{\pi} C$$

die auf einen Punkt der Schwingungsbahn reduzierte Kapazität und

$$L' = \frac{2}{\pi} L$$

den Selbstinduktionskoeffizienten des kapazitätlosen Drahtes bedeutet. Es läßt sich nun annehmen, daß nach der Kopplung beider Schwingungsbahnen, durch das gemeinschaftliche Stück a, beide Schwingungsbahnen nebeneinander bestehen bleiben und ihre Ströme sich in a übereinander lagern. Für beide Schwingungsbahnen sind jetzt die Schwingungskapazitäten zwar wieder identisch, weichen aber von jenen im ungekoppelten Zustande ab, weil erstens die Kapazitätsbelastung durch den bei B anschließenden Draht vergrößert und zweitens die Selbstinduktion in dem gemeinschaftlichen Teile durch die Ueberlagerung eines zweiten Stromes verdoppelt wird. Der Draht BC hat somit dem gemeinschaftlichen Teile gegenüber nur eine halb so große Selbstinduktion wie früher. Für jeden Schwingungsweg ist infolgedessen eine Selbstinduktion zu rechnen.

Fig. 107.



$$L'' = L_1 a + \frac{1}{2} \xi L_1 l,$$

wenn man unter Anschluß großer Werte für a den Formfaktor am Strombauche gleich 1 setzt und die ungleiche Stromverteilung in l durch den Formfaktor ξ berücksichtigt. L_1 ist hierbei die Selbstinduktion für das Meter Drahtlänge berechnet.

Digitized by Google

Die zu berechnende Kapazität setzt sich aus der Kapazität des gemeinschaftlichen Stückes a und der doppelten Kapazität des Drahtes l zusammen.

$$C'' = \xi' \,.\, C_1 a + 2\eta_l C_1 l,$$

worin ξ' und η_l die entsprechenden Formfaktoren und C_1 die Kapazität pro Meter Drahtlänge bezeichnet.

Für jeden Schwingungsweg berechnet sich sonach die Wellenlänge aus

$$\frac{\lambda_1}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{C''L''} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\left(L_1 a + \frac{1}{2}\xi L_1 l\right)\left(\xi' C_1 a + 2\eta_l C_1 l\right)}.$$

Die Formfaktoren lassen sich nach der in I, 6 gegebenen Weise ermitteln. C_1 folgt aus den Messungen (I, 3) gleich 6 cm und L_1 aus der Wellenlänge der ungekoppelten Schwingungsbahnen

$$\frac{\lambda_0}{4} = 960 = \sqrt{60\,L},$$

woraus sich L_1 für diesen Fall mit 1535 cm bestimmt.

Die auf diese Weise für verschiedene Werte von a berechneten Werte für λ_1 mit den gemessenen verglichen, zeigten eine nahezu gleichbleibende und in Anbetracht der Schwierigkeit der Messungen so unbedeutende Differenz, daß die Richtigkeit der Auffassung außer allem Zweifel steht.

Die Kopplung identischer Schwingungskreise liefert auch dann eintönige Sender mit einer der Stromvermehrung entsprechenden Dämpfungsverminderung in der Funkenstrecke, wenn ihnen nicht nur die Funkenstrecke, sondern auch ein Teil der Selbstinduktion gemeinsam ist.

Umfaßt die Kopplung elektrisch identischer Schwingungskreise nur eine geringe gemeinschaftliche Selbstinduktion an der Funkenstrecke, so läßt sich die entstehende Kopplungswelle auch unter Einführung von Ersatzkapazitäten berechnen.

Wie bereits gezeigt (I, 7), läßt sich eine freischwingende Kapazität stets durch eine Flächen- oder Raumkapazität, d. i. durch eine im Anschlußpunkte konzentriert gedachte statische Kapazität ersetzen.

Für die Ersatzkapazität Cd' (Fig. 108) wurde die Beziehung abgeleitet

$$\frac{ca}{Cd'} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} \,.\, \mathrm{tg} \,.\, \frac{2\pi a}{\lambda_0}.$$

Setzt man dem vorliegenden Falle entsprechend

Digitized by Google

$$a = \frac{\lambda_0}{4} - l$$

und

$$Cd = cl,$$

so wird

$$Cd' = \frac{\operatorname{tg} x_0}{x_0} \cdot Cd,$$

wenn man $\frac{2\pi l}{\lambda_0}$ mit x_0 bezeichnet.

Die statische Kapazität, welche die Drahtkapazität l ersetzen soll, ist von der Wellenlänge abhängig und stets größer als die statisch gemessene Drahtkapazität. Der Koeffizient $\frac{\operatorname{tg} x_0}{x_0}$ nimmt mit wachsender Wellenlänge ab. Aendert sich demnach die Wellenlänge des Systemes, so nimmt auch die Ersatzkapazität einen anderen Wert an.

Fig. 108.

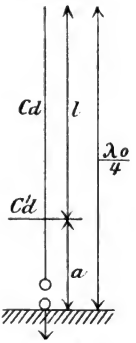
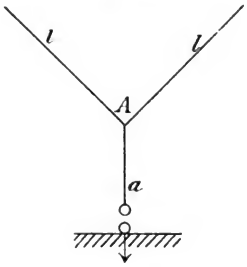


Fig. 109.



Schneidet man von einem einfachen Drahtsender (Fig. 108), dessen Wellenlänge gleich λ_0 ist, ein Stück l ab und ersetzt es durch eine Drahtkapazität Cd', so bleibt die Wellenlänge ungeändert, wenn

$$Cd' = \frac{\operatorname{tg} x_0}{x_0} Cd$$

gewählt wird.

Für kleine Werte von a ist die Wellenlänge zu berechnen aus

$$\lambda_0 = 2\pi \sqrt{La \cdot Cd'}.$$

Koppelt man zwei identische Drahtsender im Punke A (Fig. 109),

Digitized by Google

so nimmt das gekoppelte System eine größere Wellenlänge λ_1 an und die Ersatzkapazität jedes Einzeldrahtes muß jetzt die Größe

$$Cd'' = \frac{\text{tg} \cdot x_1}{x_1} Cd$$

haben, worin

$$x_1 = \frac{2\pi l}{\lambda_1}.$$

Die in dem Punkte A vorhandene Gesamtkapazität ist jetzt 2Cd'' und die Wellenlänge

$$\lambda_1 = 2\pi \sqrt{La \cdot 2Cd''}.$$

Hieraus folgt

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \sqrt{2 \frac{\text{tg } x_1}{x_1} \cdot \frac{x_0}{\text{tg } x_0}} = \sqrt{2 \frac{\text{tg } x_1}{\text{tg} \cdot x_0} \frac{\lambda_1}{\lambda_0}}$$

oder

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_0} = 2 \frac{\text{tg } x_1}{\text{tg } x_0} = \frac{x_0}{x_1}$$

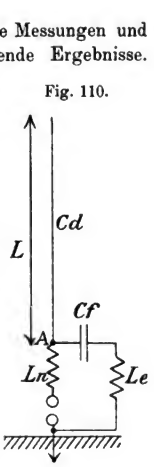
oder

$$x_1 \text{ tg } x_1 = \frac{1}{2} x_0 \text{ tg } x_0.$$

Aus einer Kurventafel $y = x \text{tg} x$ ist der Wert x_1 abzugreifen und $\lambda_1 = \frac{2\pi l}{x_1}$ zu berechnen.

Für kleine Werte von a gibt, wie vergleichende Messungen und Berechnungen zeigen, diese Methode zufriedenstellende Ergebnisse. Bei größeren Werten von a macht sich jedoch die Vernachlässigung der Kapazität des gemeinschaftlichen Stückes a geltend.

Fig. 110.



Sind die gekoppelten Schwingungssysteme zwar elektrisch gleichwertig, d. h. von gleicher Schwingungskapazität, aber nicht mehr elektrisch identisch, was dann der Fall ist, wenn die gemeinsame Selbstinduktion einerseits mit einem Drahtgebilde, anderseits mit einem Kondensator belastet ist, so komplizieren sich die Verhältnisse.

Zur Klärung der hier auftretenden Fragen sei zunächst ein Sender (Fig. 110), bei welchem das Sendegebilde aus einem einfachen frei ausgespannten Drahte besteht, betrachtet. l bezeichnet die Länge des Sendedrahtes, Ln die gemeinschaftliche Selbstinduktion, Le die Selbstinduktion, welche in dem

Digitized by Google

geschlossenen Kreise außerdem noch vorhanden ist und Cf die Kondensatorkapazität. Vor der Kopplung seien beide Schwingungskreise auf die gleiche Grundwelle λ_0 abgestimmt. Dann ist einerseits

$$\lambda_0 = 2\pi \sqrt{(Ln + Le)Cf},$$

anderseits

$$\lambda_0 = 2\pi \sqrt{Ln\,Cd^0},$$

worin Cd^0 die der Drahtkapazität Cd für die Schwingungen gleichwertige Ersatzkapazität bezeichnet, welche nach dem vorhergehenden aus

$$Cd^0 = \frac{\operatorname{tg} x_0}{x_0} \cdot Cd$$

berechnet werden kann und worin

$$x_0 = \frac{2\pi l}{\lambda_0}.$$

Infolge der Gleichstimmung ist

$$Cd^0 = \left(1 + \frac{Le}{Ln}\right) Cf$$

und

$$\frac{Cd}{Cf} = \left(1 + \frac{Le}{Ln}\right) \frac{x_0}{\operatorname{tg} x_0}.$$

Durch die Kopplung entsteht eine neue Welle, „die Kopplungswelle“ λ_1, für welche die Ersatzkapazität des Sendedrahtes

$$Cd' = \frac{\operatorname{tg} x_1}{x_1} Cd$$

ist und worin

$$x_1 = \frac{2\pi l}{\lambda_1}.$$

Die Kopplungswelle ist die Welle des geschlossenen Kreises mit der zusätzlichen Kapazitätsbelastung, sohin ist

$$\lambda_1 = 2\pi \sqrt{(Ln + Le)(Cf + Cd')}$$

oder

$$\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1 + \frac{Cd'}{Cf}} = \lambda_0 \sqrt{1 + \left(1 + \frac{Le}{Ln}\right) \frac{x_0}{x_1} \frac{\operatorname{tg} . x_1}{\operatorname{tg} x_0}}$$

und ergibt sich hieraus, daß die Kopplungswelle stets größer wird als die Grundwelle.

Für die Berechnung der Kopplungswelle aus der Grundwelle erhält man die komplizierte transzendente Gleichung

Digitized by Google

$$\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)^2 = 1 + \left(1 + \frac{Le}{Ln}\right)\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)\frac{\operatorname{tg}\frac{2\pi l}{\lambda_1}}{\operatorname{tg}\frac{2\pi l}{\lambda_0}},$$

deren Wurzeln so wenig übersichtlich sind, daß ihre praktische Verwertung ausgeschlossen ist.

Es seien daher für die weitere Behandlung nur die Grenzfälle herangezogen, was für die vorliegende Anwendung vollkommen genügt.

a) Ln sei nicht nur gegenüber Le, sondern an sich sehr groß. Die Kopplungswelle wird

$$\lambda_1 = 2\pi\sqrt{Ln\,(Cf + Cd')},$$

worin

$$Cd' = \frac{\operatorname{tg}\frac{\pi}{2}\frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}}{\frac{\pi}{2}\frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}} \cdot Cd.$$

Je größer Ln ist, desto kleiner wird $\frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}$, der Winkel wird klein und der Faktor nähert sich dem Werte 1, d. h.

$$Cd' \sim Cd.$$

In diesem Falle läßt sich annähernd

$$\lambda_1 = 2\pi\sqrt{Ln\,Cf\left(1 + \frac{Cd}{Cf}\right)} = \lambda_0\sqrt{1 + \frac{Cd}{Cf}}$$

setzen. Da das mit einem Fehler behaftete Glied $\frac{Cd}{Cf}$ unter einer Wurzel steht, verkleinert sich der prozentuale Fehler von λ_1 wesentlich.

Eine Harfe von 26 m Länge aus sechs parallelen Drähten im Abstande von 10 cm, deren Kapazität $Cd = 370$ cm betrug, wurde unter Vorschaltung von Spulen Lh mit geerdeter Funkenstrecke (Fig. 111) erregt und die entstehende Wellenlänge $\frac{\lambda_0}{4}$ mit dem Multiplikationsstabe gemessen. Hierauf wurden Grisson-Kondensatoren so abgestimmt, daß sie, mit Lh im geschlossenen Kreise belastet, die gleiche Grundwelle ergaben. Nunmehr erfolgte die Kopplung und Messung der Kopplungswelle $\frac{\lambda_1}{4}$.

Digitized by Google

Ein Vergleich der gemessenen und der nach obigen Formeln berechneten Wellenlängen zeigte eine befriedigende Uebereinstimmung, welche mit wachsendem Lh zunahm, so daß die Differenz zwischen den gemessenen und berechneten Werten nur mehr einige Zehntelprozent betrug.

Dieser Fall hat nur geringe praktische Bedeutung, da der Formfaktor umso kleiner wird, je mehr sich Cd' dem Werte Cd nähert

Fig. 111.

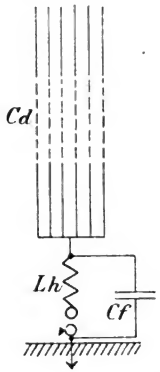
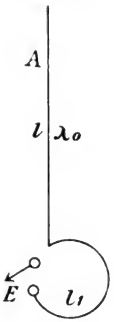


Fig. 112.



und damit sich auch die magnetische Fernwirkung entsprechend verschlechtert.

b) Für ein kleines Lh ergibt sich die Kopplungswelle, wenn zur Vereinfachung $Le = 0$ gesetzt wird, aus

$$\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1 + \frac{x_0}{x_1} \cdot \frac{\operatorname{tg} x_1}{\operatorname{tg} . x_0}}.$$

Zur Kontrolle dieser Gleichung wurde folgende Messung ausgeführt:

Ein Draht von der konstanten Länge $l + l_1$ wurde (Fig. 112) als Marconisender erregt. Das Stück l_1 war hierbei zu einem Kreise gebogen. Die gemessene Grundwelle ist in diesem Falle nicht $4(l + l_1)$, da l_1 in Kreisform einen anderen Selbstinduktionskoeffizienten besitzt als im geradlinigen Zustande. Nunmehr wurde l entfernt und nach der Schaltung (Fig. 113) eine Kapazität Cf so abgeglichen, daß die gleiche Grundwelle λ_0 entstand, hierauf wurde die Kopplung (Fig. 114)

Digitized by Google

vorgenommen und die Kopplungswelle λ_1 gemessen. Bei dieser Anordnung kann Le tatsächlich gleich Null angenommen werden. Dies wurde nun für verschiedene l_1 durchgeführt und gleichzeitig auch die Werte von λ_1 berechnet und zeigte sich auch hier ausreichende Uebereinstimmung mit den direkt gemessenen Werten.

Für die Beurteilung der Fernwirkung eines gekoppelten Sen-

Fig. 113.

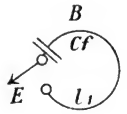
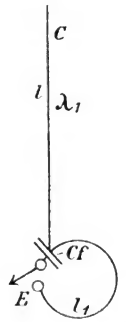


Fig. 114.



ders ist die Stromaufnahme des Sendegebildes maßgebend, welche durch den Wert der Ersatzkapazität Cd' oder richtiger durch das Verhältnis $\frac{Cd'}{Cd}$ bestimmt ist. Aus den vorstehenden Gleichungen ergibt sich

$$\frac{Cd'}{Cd} = \frac{\operatorname{tg} x_1}{x_1} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\pi}{2} \frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}}{\frac{\pi}{2} \frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}}.$$

Um daher mit einem Sendegebilde von gegebener statischer Kapazität Cd die größte Fernwirkung zu erzielen, ist $\frac{Cd'}{Cd}$ möglichst groß zu machen. Der Grenzwert ist für $\frac{\lambda_1}{4} = l$ unendlich. Man nähert sich diesem Falle, wenn man Lh möglichst klein macht, d. h. die Kopplung durch die Funkenstrecke bewirkt. Die Verwendung einer unterteilten Funkenstrecke,

Digitized by Google

welche bei gleichem Gesamtpotential eine kleinere Funkenlänge und damit geringere Selbstinduktion ermöglicht, bietet auch in dieser Beziehung Vorteile. Je größer der Kondensator, desto größer ist auch der übergelagerte Strom in der Funkenstrecke und desto geringer auch die Widerstandsdämpfung des Gesamtsystemes. Praktisch wird man hierbei stets bis an die Belastungsgrenze des zu verwendenden Transformators gehen, wobei allerdings auch die Ladespannung und Ladefrequenz zu berücksichtigen ist.

Im vorstehenden wurde stets angenommen, daß die Dämpfungen der gekoppelten Schwingungswege elektrisch vollkommen gleichwertig sind. Dies ist nun tatsächlich nicht der Fall, weshalb die vorgeführte Abstimmungstheorie noch einer Ergänzung bedarf.

Außer der gemeinschaftlichen Dämpfung in der Funkenstrecke sind noch drei Dämpfungsursachen zu unterscheiden. Im eigentlichen Sendegebilde ist die wesentlichste Dämpfungsursache die magnetische, welche, weil die Nutzwirkung auf ihr beruht, möglichst groß sein soll. Die Dämpfung durch Elektronenstrahlung ist, wenn die höchste zulässige Flächenspannung nicht überschritten wird, minimal. Auch die Dämpfung durch den Ohmschen Widerstand des Sendegebildes kann vernachlässigt werden. Im Sendedrahte ist demnach die wesentlichste Dämpfungsursache der Energieverlust durch magnetische Strahlung.

Im Kondensatorkreis kommt wie in jedem geschlossenen Kreise die magnetische Strahlung als Dämpfungsursache gar nicht in Betracht und ist ebenso auch die Dämpfung durch den Ohmschen Widerstand zu vernachlässigen. Für die Dämpfung in diesem Kreise sind die Verluste durch den Kondensator und zwar durch direkte Elektronenstrahlung an den Rändern der Belegung, sowie durch die Hysteresis des Dielektrikums wohl in Betracht zu ziehen, da beide beträchtliche Werte annehmen können.

Bei ausgedehnten Sendeleitungen mit großem Formfaktor für den Strom, also bei geringer Selbstinduktion und Verwendung von Kondensatoren mit geringen Strahlungsverlusten, wird die Dämpfung des Sendegebildes größer als die des Kondensatorkreises und findet dann eine Störung des Gleichgewichtes in dem gekoppelten Schwingungssystem statt, wodurch die Resonanz des Sendegebildes mit dem Kopplungskreise aufhört.

Es ist sonach zur Wiederherstellung des elektrischen Gleich-

Digitized by Google

gewichtes der beiden Schwingungskreise eine Korrektion erforderlich, deren rechnerische Vorausbestimmung dermalen noch von so großen Schwierigkeiten begleitet ist, daß auf eine mathematische Ableitung überhaupt verzichtet und die Lösung des Problems experimentell versucht wurde, was auch gelungen ist.

Die Dämpfung eines einfachen Schwingungsweges durch den Ohmschen Widerstand ist gegeben durch

$$D = \frac{W}{2L} T.$$

Diese Dämpfung bewirkt eine fortwährende Abnahme der Stromamplituden. Die magnetische Strahlung bewirkt eine weitere Abnahme dieser Amplituden. Man kann sie sich durch einen zusätzlichen Widerstand W' ersetzt denken und dann die Dämpfung ausdrücken durch

$$D' = \frac{W + W'}{2L} T$$

oder wenn T durch $2\pi\sqrt{CL}$ ersetzt wird

$$D' = \pi (W + W') \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Soll die Dämpfung auf den vorigen Betrag zurückgebracht werden, so ist $\frac{C}{L}$ zu verkleinern, aber in der Weise, daß das Produkt CL, welches die Frequenz bedingt, möglichst unverändert bleibt, was durch Vergrößerung von C und Verkleinerung von L erfolgt.

In dem gekoppelten Sender (Fig. 98) wird die Selbstinduktion lediglich durch die Funkenstrecke repräsentiert. Denkt man sich den Kondensator direkt angeschlossen und den Sendedraht durch seine Ersatzkapazität Cd' ersetzt, so läßt sich die verlangte gleichzeitige Aenderung durchführen, indem man den oberen Anschlußpunkt des Kondensatorkreises weiter in den Sendedraht hinein verlegt.

Hierbei nimmt die Selbstinduktion zu und die Ersatzkapazität ab, denn aus

$$Cd' = \frac{\operatorname{tg} \frac{\pi}{2} \frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}}{\frac{\pi}{2} \frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}} Cd$$

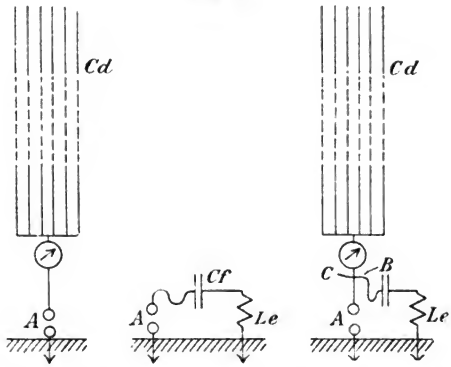
folgt, daß eine geringe Aenderung von $\frac{l}{\frac{\lambda_1}{4}}$, weil es nahe an 1 ist, große

Digitized by Google

Aenderungen von Cd' hervorruft. Durch diese Verlegung wird aber l verkleinert und $\frac{\lambda_1}{4}$ vergrößert, so daß die angegebene Verschiebung gleichzeitig eine Vergrößerung der Selbstinduktion und eine Verminderung der Gesamtkapazität bewirkt. Die gemeinschaftliche Selbstinduktion macht jedoch für den Kondensatorkreis im Verhältnis zur Längeneinheit einen größeren Betrag aus, weil sie von einem größeren Strom durchflossen wird. Es muß demnach für den geschlossenen Kreis eine kleine Reduktion der Selbstinduktion eintreten, damit die Resonanz der beiden Schwingungswege aufrecht erhalten bleibt. Ist diese Auffassung richtig, so ergibt sie eine ungezwungene Erklärung des nachfolgenden Abstimmungsverfahrens.

Ein Sender von der statischen Kapazität Cf (Fig. 115) wird zunächst durch eine geerdete Funkenstrecke erregt und die Wellenlänge $\frac{\lambda_0}{4}$ gemessen. Hierauf wird die Verbindung des Senders bei A gelöst und ein geschlossener Kreis mit der Kapazität Cf, welche der

Fig. 115.



Belastungsgrenze des Transformators nahezu aber nicht ganz entspricht, angeschlossen und mit Hilfe einer regulierbaren Selbstinduktion Le so reguliert, daß der Kreis die Grundwelle λ_0 annimmt. Nach Wiederanschluß des Senders nimmt man den bei A gelösten Draht des Kondensatorkreises mit einer Isolierzange bei C und fährt mit diesem Drahte längs des Sendedrahtes entlang, indem man dabei beobachtet, daß das Stück AB stets gleich dem Stücke BC sei.

Digitized by Google

Man findet dann einen bestimmten Punkt B, bei welchem das Maximum der Wirkung auftritt. Die Länge AB beträgt meist nur wenige Dezimeter und ist wegen des Tangentenverhältnisses mit großer Schärfe einzustellen. Wird das Stück AB um vieles länger, so läßt es sich durch eine Spule von gleicher Selbstinduktion ersetzen. Für Laboratoriumsversuche läßt sich die Korrektur durch Verschiebung eines Brückendrahtes (Fig. 116) vornehmen, wodurch jeder Einfluß auf die Selbstinduktion des geschlossenen Kreises durch eine etwaige Lageveränderung des Drahtes vermieden wird.

Fig. 116.

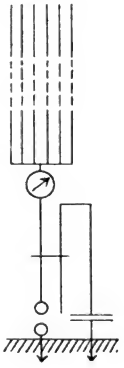
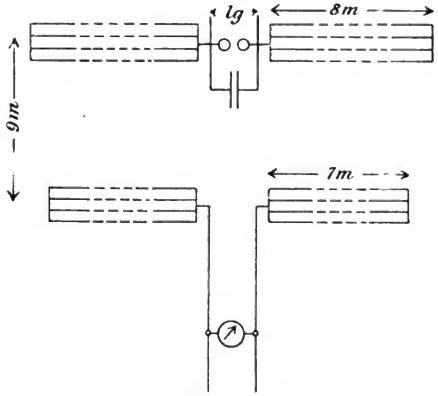


Fig. 117.



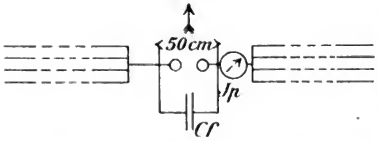
Für die Erkenntnis der maximalen Wirkung des Senders ist die Verwendung eines Hitzdrahtinstrumentes ausgeschlossen und bleibt kein anderes Mittel über, als die Stromaufnahme durch einen abgestimmten Sender zu messen.

Für diese Versuche wurde, um den Einfluß durch eine Erdverbindung auszuschließen, die Hertzsche Anordnung des Senders in einer Form gewählt, welche eine große magnetische Strahlung erwarten ließ. Er bestand aus zwei je 8 m langen Harfen mit vier blanken Drähten von $^1/_2$ m Abstand und mit verbundenen Enden (Fig. 117). Als Empfänger dienten zwei ähnliche Harfen von je 7 m Länge, die durch ein auf einer Gleitbahn rollendes Hitzdrahtinstrument verbunden waren. Die Einstellung auf Resonanz erfolgte durch Verschiebung des Instrumentes. Zum Anschluß der Wirkung direkter elektrischer Kräfte waren Sender

Digitized by Google

und Empfänger mit parallelen Harfenebenen 9 m voneinander aufgestellt. Die magnetische Fernwirkung war dabei eine so intensive, daß eine in die Empfangsharfe eingeschaltete Glühlampe in die hellste Weißglut gebracht wurde. Die Messung der Wellenlänge der Empfangsharfe ergab eine weitere Kontrolle für die Resonanz. Durchgeführte Versuche zeigten, daß die Stromaufnahme durch die Verlängerung des Stückes allmählich anstieg, bei einer bestimmten Stelle ihr Maximum erreichte, um dann wieder abzufallen. Die Kopplungswelle verlängerte sich hierbei um rund 10 %, die Stromaufnahme stieg dagegen um rund 70 %. Es wurde weiters erwiesen, daß die Stromaufnahme mit der Kapazität des verwendeten Kondensators nahezu proportional ansteigt. Die Korrektionslänge lg nimmt bei kleinen Kapazitäten zu und wird für größere Kapazitäten nahezu konstant. Bedingung für diese Versuche war, den Transformator so zu regulieren, daß er für die verschiedenen Belastungen gleiche Ladefrequenz ergab.

Fig. 118.



Die Einschaltung von Spulen mit größerer Selbstinduktion ruft eine fortwährende Abnahme der Fernwirkung hervor und bestätigt die Anschauung, wonach die Fernwirkung vom Formfaktor des Stromes im Sendegebilde abhängt. Bei diesen Versuchen wurden Harfe und geschlossener Kreis vor der Kopplung sorgfältig auf die gleiche Grundwelle λ_0 abgestimmt.

Eine weitere Steigerung der Wirkung um ungefähr 10 % läßt sich dadurch erreichen, daß man die Grundwelle λ_0 des geschlossenen Kreises verändert. Für diese Untersuchungen wurde der in Fig. 118 dargestellte Harfensender mit dem Kapazitätskreise so gekoppelt, daß die gemeinschaftliche Länge $lg = 50$ cm der beiden Schwingungswege stets gleich blieb. Der geschlossene Kreis wurde mit Hilfe der Kondensatorkapazität auf die gleiche Grundwelle $\left(\frac{\lambda_0}{4}\right)_k$ reguliert. Diese letztere Grundwelle wurde nun durch Verschiebung des geschlossenen Kreises in der Pfeilrichtung verändert, sodann die neue Grundwelle $\left(\frac{\lambda_0}{4}\right)_{k'}$, die Kopplungswelle $\frac{\lambda_1}{4}$, die Stromaufnahme der Sendeharfe Js und die Stromaufnahme der abgestimmten

Digitized by Google

Empfangsharfe Jp gemessen. Beide Ströme ändern sich in gleichem Verhältnisse und erreichen bei einer bestimmten Länge der Kreiswelle $\left(\frac{\lambda_0}{4}\right)_k$ ihr Maximum. Die günstigste Wirkung wurde erzielt, wenn die Kreiswelle ungefähr um 4 % kleiner war als die Grundwelle der Harfe. Um die günstigste gemeinschaftliche Länge lg der beiden Schwingungswege zu ermitteln, wurden verschiedene Versuche durchgeführt, welche ergaben, daß die nach der ersten Korrektionsmethode ermittelte gemeinschaftliche Drahtlänge die kleinste prozentuale Aenderung der Kreiswelle erfordert.

Das Verhältnis $\frac{Js}{Jp}$ der Maximalströme nahm hierbei den bedeutenden Wert von 0,24 an, so daß fast ein Viertel des Primärstromes in der Empfangsharfe wiedergewonnen wurde. Es scheint sich danach die Wirkung des Harfensenders nicht gleichmäßig nach allen Richtungen des Raumes auszubreiten und gewinnt hierdurch die Möglichkeit einer Zeichenübertragung nach bestimmter Richtung an Wahrscheinlichkeit.

Der direkt erregte Sender mit verminderter Dämpfung bleibt durch die Kapazitätsbelastung mit Kondensatoren, sowie nach erfolgter Korrektion nicht mehr eintönig, denn es tritt außer der rechnerisch und experimentell nachgewiesenen Kopplungswelle λ_1 stets noch eine zweite kleinere Welle auf. Diese Nebenwelle ist jedoch bei der angegebenen Schaltung von bedeutend geringerer Intensität als die Hauptwelle, und läßt sich in manchen Fällen nur durch besondere Maßnahmen erkennen. Es läßt sich demnach dieser Sender vom praktischen Standpunkte aus immer noch als eintönig bezeichnen.

Dr. Georg Seibts Vorschläge zur Abstimmung des Empfängers auf die beiden Wellen des Senders[1]). Bei zwei miteinander induktiv gekoppelten Schwingungskreisen, wie solche für die Sendereinrichtungen der drahtlosen Telegraphie zur Verwendung gelangen, entstehen infolge der gegenseitigen Einwirkung der beiden Kreise zwei Schwingungen von verschiedener Periodenzahl, die auch bei der Abstimmung beider Kreise nicht fortfallen, sondern im Gegenteile noch viel schärfer auspeprägt zum Ausdruck kommen.

Der Empfänger wird nun nach den Gesetzen der elektrischen Resonanz dann am besten ansprechen, wenn er gleichfalls zwei Eigenschwingungen besitzt, welche mit denen des Senders in Bezug auf die Periodenzahl übereinstimmen. Dieser theoretischen Forderung ist bisher

[1]) E. T. Z. 1904, S. 1111.

Digitized by Google

in der Praxis nicht entsprochen worden, sondern die Abstimmung erfolgt bei den gebräuchlichen Schaltungsweisen nur auf eine der Senderwellen und zwar stets auf die längere.

Infolge der Unvollkommenheit der Empfängerabstimmung geht ein Teil der von dem Sender ausgestrahlten Energie für den Empfang verloren. Um den Nutzen der Doppelabstimmung erkennen zu können, ist es notwendig, die Beziehungen über die Strom-, Spannungs- und Energieverteilung zwischen den beiden Senderwellen festzustellen.

Hier können nur relativ festgekoppelte Sender, d. s. solche, deren Schwingungen in der Resonanzkurve durch eine tiefe Einsenkung voneinander getrennt erscheinen, in Betracht kommen. Für diese Sender ist der Einfluß der Dämpfung auf die Bildung der Amplituden ein geringer und kann daher vernachlässigt werden.

Bezeichnen E_0 die Ladespannung des Kondensators, E_{11}, E_{12} die Spannungs-, J_{11}, J_{12} die Stromamplituden der beiden Schwingungen im primären und E_{21}, E_{22}, J_{21}, J_{22} diejenigen im sekundären Kreise, L_1, L_2 die Selbstinduktionen, C_1, C_2 die Kapazitäten, M die gegenseitige Induktion und $k^2 = \frac{M^2}{L_1 L_2}$ den Kopplungsfaktor, so ist:

$$E_0 = E_{11} + E_{12} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} J_{11} &= \omega_1 C_1 E_{11} \\ J_{12} &= \omega_2 C_2 E_{12} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

$$0 = E_{21} \cos \omega_1 t + E_{22} \cos \omega_2 t \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} J_{21} &= \omega_1 C_2 E_{21} \\ J_{22} &= \omega_2 C_2 E_{22} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

Das Verhältnis der Spannungen ergibt sich unter Benutzung der Entwicklung auf S. 32 Gl. (4),

$$\left.\begin{aligned} \frac{E_{11}}{E_{21}} &= \frac{L_1 - \omega_1^2 C_2 (L_1 L_2 - M^2)}{M} \\ \frac{E_{12}}{E_{22}} &= \frac{L_1 - \omega_2^2 C_2 (L_1 L_2 - M^2)}{M} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

Die Schwingszahlen in 2π-Sekunden sind unter Voraussetzung der Abstimmung beider Kreise

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{C_2 L_2} \frac{1}{1+k}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{1}{C_2 L_2} \frac{1}{1-k}}.$$

Digitized by Google

Diese Werte in Gl. (5) eingesetzt ergeben

$$E_{11} = + E_{21} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

$$E_{12} = - E_{22} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}.$$

Aus den Gl. (1) und (3) und den vorstehenden Formeln folgt

$$E_{11} = E_{12} = \frac{E_0}{2}$$

und hiernach aus Gl. (2)

$$J_{11}\omega_2 = J_{12}\omega_1$$

und Gl. (4)

$$J_{21}\omega_2 = - J_{22}\omega_1.$$

Durch Einführung der Wellenlängen λ_1 und λ_2 an Stelle von ω_1 und ω_2 wird

$$J_{11}\lambda_1 = J_{12}\lambda_2$$
$$J_{21}\lambda_1 = - J_{22}\lambda_2.$$

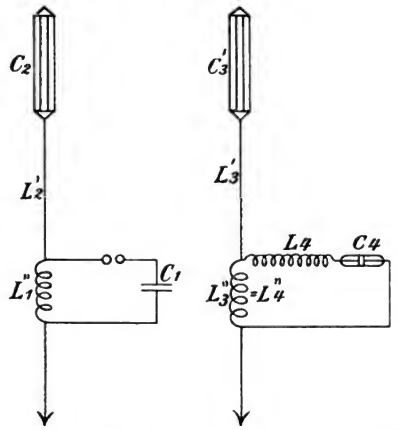
Die Spannungsamplituden der beiden Schwingungen und daher auch ihre Energiemengen sind demnach einander gleich. Die Stromstärken sind dagegen ungleich und ist die Stromamplitude der schnelleren Schwingung im Verhältnis der Wellenlängen größer als die der langsameren. Für die Erregung des Empfängers kommt es nicht auf hohe Potentialamplituden, sondern auf große Stromstärken und hohe Wechselzahlen im Sender an und ist demnach die kurze Welle in Bezug auf die Fernwirkung der langen Welle überlegen. Die Energie wird schneller und mit besserem Wirkungsgrade ausgestrahlt. Wenn sich nun auch ohne Kenntnis der Kopplungs- und Dämpfungsverhältnisse nicht bestimmen läßt, ob der Empfänger besser auf die lange als die kurze Welle abzustimmen ist, so läßt sich doch mit Bestimmtheit behaupten, daß bei mäßig fester Kopplung ($k^2 \sim 0{,}003$), wenn der Empfänger auf die lange Welle abgestimmt ist, mindestens die Hälfte der ausgestrahlten Energie verloren geht und durch die Mitbenutzung der kurzen Welle eine Verbesserung erzielt wird, welche einer Verdopplung der Senderenergie entspricht. Der Vorteil, der durch die Doppelabstimmung erreicht werden könnte, ist demnach nicht gering zu veranschlagen.

Um die Möglichkeit der Doppelabstimmung zu erweisen, wurden vorerst einige ausgeführte Schaltungsweisen untersucht und zwar

Digitized by Google

a) Sender und Empfänger sind direkt gekoppelt (Fig. 119). Die Kapazität der Erregerkreise beträgt $C_1 = 10\,000$ cm, die des Luftleiters $C_2 = 1000$ cm. Die Luftleiter des Empfängers und Senders sind kongruent, sonach $C_3 = C_2 = 1000$ cm. Die Fritterkapazität wird einschließlich der des Spulenendes mit $C_4 = 100$ cm angenommen. Die

Fig. 119.



Selbstinduktion der vier Kreise sind L_1, L_2, L_3, L_4. Jede dieser Selbstinduktionen kann, welches auch die Art der Koppelung sei, als aus zwei Teilen zusammengesetzt gedacht werden, von denen der eine einer ideal fest gekoppelten Spule mit der Selbstinduktion L'', der zweite einer gänzlich ungekoppelten Spule mit der Selbstinduktion L' entspricht. Man kann daher schreiben:

$$L_1 = L_1' + L_1''$$
$$L_2 = L_2' + L_2''$$
$$L_3 = L_3' + L_3''$$
$$L_4 = L_4' + L_4''.$$

Im vorliegenden Falle wird

$$L_1 = L_2''$$
$$L_2' = L_3'$$
$$L_3'' = L_4''.$$

Digitized by Google

Die Wellenlänge im ungekoppelten Zustande betrage $\lambda_0 = 314$ m.

Die Bedingung, daß diese Welle allen vier Kreisen gemeinsam sein soll, ergibt:

$$\lambda_0 = 2\pi\sqrt{C_1 L_1} = 2\pi\sqrt{C_2 L_2} = 2\pi\sqrt{C_3 L_3} = 2\pi\sqrt{C_4 L_4}.$$

Mit den angegebenen Werten für die Kapazitäten ergeben sich hier die Selbstinduktion in Zentimetern

$$L_1 = 2500,\ L_2 = 25\,000,\ L_3 = 25\,000,\ L_4 = 250\,000.$$

Der Koppelungsfaktor des Senders ist $k^2 = \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{10}$.

Die deformierten Wellenlängen des Senders sind:

$$\lambda_1 = \lambda_0\sqrt{1+k} = 366$$
$$\lambda_2 = \lambda_0\sqrt{1-k} = 260.$$

Der Koppelungsfaktor des Empfängers ist $\gamma^2 = \frac{L_3'' L_4''}{L_3 L_4}$ und ergibt mit den Zahlenwerten $L_3 = 25\,000$, $L_4 = 250\,000$, $L_3'' = L_4'' = L_1 = 2\,500$

$$\gamma^2 = 0{,}001.$$

Die deformierten Wellenlängen des Empfängers sind:

$$\lambda_3 = \lambda_0\sqrt{1+\gamma} = 318$$
$$\lambda_4 = \lambda_0\sqrt{1-\gamma} = 309.$$

Es ist sonach die Koppelung bei weitem zu schwach, als daß die Sender und die Empfängerwellen zur Deckung kommen können, und läßt sich die Abstimmung nur auf eine der Senderwellen erreichen und zwar nur auf die längere, da sich selbst durch völlige Ausschaltung der Spule L_3'' die Wellenlänge des Empfangsluftleiters nur auf 298 m herabdrücken ließe. Nimmt man die Wellenlänge der beiden Kreise des Empfängers zu 360 m an, so ist nach erfolgter Koppelung die langsame Schwingung und bei einer Wellenlänge von 372 m die schnellere Schwingung in Resonanz mit dem Sender.

Die Wellenlängen des Empfängers sind wegen des geringen Unterschiedes durch Aufnahme einer Resonanzkurve kaum voneinander zu trennen. Der zu gewinnende Linienzug wird sich jener Gestalt von Resonanzkurven nähern, wie solche bei stark gedämpften Schwingungen erhalten werden. Hierin liegt offenbar, was die Schärfe der Abstimmung betrifft, ein Nachteil des mäßig gekoppelten Empfängers gegenüber dem einfachen Empfänger, vorausgesetzt, daß die Erregung durch zwei stark voneinander unterschiedene Schwingungen erfolgt.

Digitized by Google

b) Bei der von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie verwendeten Empfängerschaltung (Fig. 120) besteht die primäre und sekundäre Spule aus einer einzigen fortlaufenden Wickelung. Da die Koppelung hier sowohl direkt als induktiv ist, wird sie nicht unerheblich kräftiger, als die vorhergehende Anordnung. Der Grad der Koppelung ist, da der Anteil der induktiven Koppelung sich nicht ohne

Fig. 120.

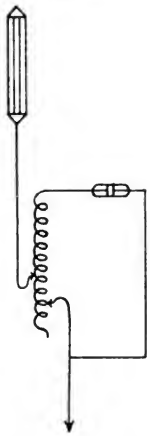
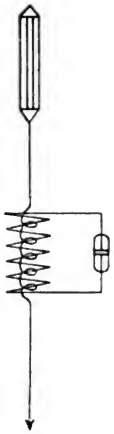


Fig. 121.



weiteres erkennen läßt, nicht ohne verwickelte Rechnung, welche hier zu weit führen würde, festzustellen. Um jedoch dem Umstande der festeren Koppelung schätzungsweise Rechnung zu tragen, wird angenommen, daß

$$L_4'' = 3\,L_3''$$

sei. Der Koppelungsfaktor wird dann dreimal so groß als vorher

$$\gamma^2 = 0{,}003$$

und die deformierten Wellenlängen

$$\lambda_1 = 314\,\sqrt{1+\gamma} = 322$$
$$\lambda_2 = 314\,\sqrt{1-\gamma} = 305.$$

Es ist demnach auch hier die Koppelung trotz dreifacher Erhöhung für die Zwecke der Doppelabstimmung noch völlig unzureichend.

Digitized by Google

c) Betrachtet man die festeste Koppelung, die die vorliegende Schaltung zuläßt, bei welcher beide Spulen so innig miteinander verbunden sind, daß sämtliche Kraftlinien der einen Spule auch die andere durchsetzen (Fig. 121), so wird

$$L_4'' = L_4$$

und der Koppelungsfaktor

$$\gamma^2 = \frac{L_3'' L_4''}{L_3 L_4} = \frac{L_3''}{L_3} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{10}$$

erreicht also den gleichen Wert des Koppelungsfaktors des Senders. Hierdurch erschiene das Problem der Doppelabstimmung gelöst, wenn nicht auch hier die Koppelung in Praxis nicht so fest gemacht werden kann, wie angenommen wurde und anderseits die Drähte infolge ihres geringen Abstandes nicht auch eine große Kapazität gegeneinander besitzen würden, deren Einfluß der gleiche ist, als wenn die Enden der sekundären Spule durch einen Kondensator geschlossen wären. Da nun jede Kapazität parallel zu dem Fritter dessen Empfindlichkeit schwächt, wird auch hierdurch der durch die Doppelabstimmung angestrebte Zweck die Wirkung zu verstärken nicht erreicht. Es müssen daher andere Mittel gefunden werden, um die Empfängerkoppelung zu verstärken.

In dem Ausdruck für den Koppelungsfaktor

$$\gamma^2 = \frac{L_3'' L_4''}{L_3 L_4}$$

bewegt sich die Selbstinduktion L_4 innerhalb sehr enger, durch die Formgebung der Spulen bestimmten Grenzen und kann bei gegebener Wellenlänge praktisch als konstant betrachtet werden. Aenderungen von L_4'' führen daher nicht zum Ziele.

In dem Ausdrucke

$$L_3 = L_3' + L_3''$$

ist die Selbstinduktion L_3', wenn die Luftleiter des Senders und Empfängers gleich sein sollen, konstant. Eine Veränderung des Luftgebildes des Empfängers durch Ausgestaltung zu einem Netze, wodurch L_3' verkleinert würde, verringert zwar die Koppelungsschwierigkeiten für die betrachtete Station, vergrößert sie aber, wenn die gebende Station auf Empfang geschaltet werden soll. Die Kongruenz der Luftgebilde muß demnach aufrecht erhalten bleiben. Um die Empfängerkoppelung zu verstärken, bleibt demnach nichts übrig, als die Selbstinduktion L_3'' zu vergrößern. Die Vertiefung der Eigenschwingungen

Digitized by Google

des Luftleiters, die hierdurch bedingt würde, läßt sich durch Einschaltung eines passenden Kondensators in die Erdleitung wieder aufheben.

Wird der Koppelungsfaktor des Senders und Empfängers gleich gesetzt, so wird

$$\gamma^2 = k^2 = \frac{L_3'' L_4''}{L_3 L_4} = \frac{L_3'' L_4''}{(L_3' + L_3'') L_4}.$$

Mit $L_4'' = \alpha^2 L_3''$ wird

$$L_3'' = \frac{k^2 L_4}{\alpha^2 2} \pm \sqrt{\frac{k^2}{\alpha^2} L_3' L_4 + \left(\frac{k^2}{\alpha^2} \cdot \frac{L_4}{2}\right)^2}.$$

Die Gesamtkapazität des primären Empfängerkreises C_3^0 ergibt sich aus

$$\lambda^0 = 2\pi \sqrt{C_3^0 (L_3' + L_3'')}$$

und die Kapazität des Erdkondensators C_x aus

$$\frac{1}{C_x} = \frac{1}{C_3^0} - \frac{1}{C_3}.$$

Eine rechnerische Durchführung mit den Zahlenwerten des Beispieles a) ergibt

$$L_3'' = 39000 \text{ cm}$$
$$C_3^0 = 404 \text{ cm}$$
$$C_x = 680 \text{ cm}$$

und mit denen des Beispieles b)

$$L_3'' = 18470 \text{ cm}$$
$$C_3^0 = 610 \text{ cm}$$
$$C_x = 1564 \text{ cm}.$$

Da das Luftgebilde durch die Einschaltung eines Kondensators von der Erde isoliert wird, müssen die von der Atmosphäre aufgenommenen Ladungen ihren Weg über die Frittröhre zur Erde nehmen und können sie untauglich machen. Zur Vermeidung solcher Störungen wird der Luftleiter (Fig. 122) bei B, wo sich ein Knotenpunkt der Schwingungen findet, durch eine stark verstimmte Spule S mit der Erde verbunden. Diese Spule leitet, ohne auf die Schwingungsvorgänge einen bemerkenswerten Einfluß auszuüben, die sich allmählich ansammelnden Ladungen gleichmäßig zur Erde ab. Gegen plötzliche Potentialänderungen erweist sie sich ebenso unwirksam, wie eine Anordnung ohne Kondensator.

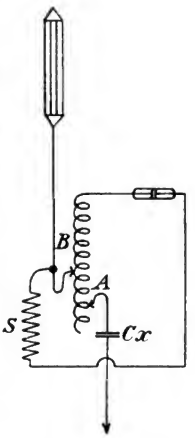
Bei dieser Schaltungsweise liegt der Erdkondensator nicht nur im primären, sondern auch im sekundären Empfängerkreise und übt

Digitized by Google

infolgedessen auf die Schwingungsdauer und die Koppelung einen bestimmten Einfluß aus, welcher jedoch durch Aenderung der Selbstinduktion leicht ausgeglichen wird. Es läßt sich dies übrigens auch dadurch vermeiden, daß man den zweiten Pol des Fritters statt mit der Erde mit der oberen Belegung des Erdkondensators verbindet.

Auch die reine Transformatorenschaltung läßt sich in gleicher Weise für Doppelabstimmung einrichten, nur nimmt der Erdkondensator wegen der stärkeren Koppelung etwas größere Dimensionen an.

Fig. 122.



An Stelle des Erdkondensators könnte auch ein elektrisches Gegengewicht in Form von großen Platten oder Netzen benutzt werden, wäre jedoch nur dort anzuwenden, wo eine gute Erdung nicht leicht herzustellen ist.

Es läßt sich resümieren, daß die Doppelabstimmung durch Einschaltung eines Kondensators in die Erdleitung und durch Vergrößerung der Selbstinduktion der Koppelungsspule erreichbar ist, wodurch die schnellere Schwingung, welche die Hauptträgerin der Fernwirkung ist, mit zur Wirkung herangezogen werden kann. Die Erregung des Fritters und die Reichweite der Stationen könnte auf diese Weise ohne Vergrößerung der Senderenergie wesentlich vergrößert bezw. verstärkt werden.

Die Installation doppelt abgestimmter Empfangssysteme wird indessen viel mehr Schwierigkeiten bieten, als die der einfachen Systeme, da die Abgleichung der vier Kreise auf die gleiche Wellenlänge und Koppelungsstärke zwar vorbereitet, in endgültigen Werten aber erst auf der Station selbst ausgeführt werden kann. Hierzu gehört aber die volle Geschicklichkeit eines mit den Schwingungsvorgängen wohlvertrauten Ingenieurs. Für die Ausrüstung eines größeren Verbandes von Stationen werden eingehende Erhebungen über die unter sich häufig verschiedenen Luftleitergebilde und Erdanschlüsse notwendig werden, um sodann nach einem wohlüberlegten Plane die für den Verkehr günstigsten Maßnahmen treffen zu können.

Zu diesen Auslassungen bemerkt Ingenieur R. Rendahl[1]), daß die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie seit Jahren eine Anordnung

[1]) E. T. Z. 1905, S. 87 u. S. 157.

Digitized by Google

anwendet, bei welcher die Koppelung am Empfänger mindestens doppelt so fest ist wie am Sender, somit die diesbezüglich von Seibt durchgeführte Berechnung nicht richtig sein dürfte. Es wird demnach auch der zur Verwendung vorgeschlagene Kondensator überflüssig, da, um eine Doppelabstimmung durchzuführen, nur notwendig wäre, die Koppelung des Empfängers so weit zu lösen, daß die beiden Partialwellen des Empfängers gleich jenen des Senders werden. Dies geschieht bei der dargestellten Anordnung in der Weise, daß ein Teil der zwischen Luftdraht und Erde gelegenen Windungen außer der gemeinschaftlichen Spule verlegt wird, wie es in der Praxis häufig geschieht.

Die meisten von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie nach dieser Anordnung ausgeführten Empfänger sind nur auf eine Senderwelle, aber stets nur auf die kürzere abgestimmt.

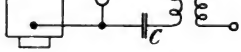
Die Einschaltung der vorgeschlagenen Selbstinduktionsspule ist bei dem Hörempfänger H. Z. M. der genannten Gesellschaft schon lange im Gebrauche.

Es zieht sich der Schluß, daß, da die kürzere Welle die größere Fernwirkung hat, durch die Doppelabstimmung die Reichweite der Stationen nicht wesentlich gesteigert werden würde.

Dr. Seibt[1]) gibt in seiner Entgegnung zu, daß er den Wert der Doppelabstimmung infolge Annahme der Abstimmung auf die längere Senderwelle überschätzt hat, es aber aufrecht erhalten muß, daß eine solche nützlich sein wird.

Abstimmungsversuche mit Teslatransformatoren[2]). Bei den Teslatransformatoren tritt nur bei ganz bestimmter Kapazität C

Fig. 123.



(Fig. 123) eine lebhafte Büschelentladung an den Polen der Sekundärspule auf, wenn die Funkenstrecke F durch den Induktor J gesperrt wird. Es muß eben, um an den Polen der Sekundären ein maximales Ausstrahlen hochgespannter Elektrizität zu erreichen, Resonanz zwi-

[1]) E. T. Z. 1905, S. 87 u. S. 157.
[2]) E. T. Z. 1904, S. 857.

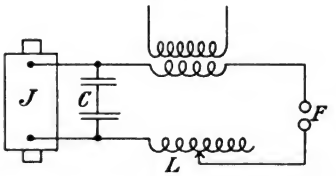
Digitized by Google

schen dem geschlossenen Kapazitätkreise und der sekundären Wickelung herrschen. Es ist nun bei der bekannten Teslaschen Anordnung schwer, die erforderliche Kapazität durch Probieren herauszufinden, für welche die Schwingungszahl des Kreises gleich der Eigenschwingung der sekundären Spule wird.

Ing. Dr. Hugo Mosler gibt nun ein Verfahren an, bei welchem sich durch Abänderung der Selbstinduktion diese Abstimmung rasch und sicher erreichen läßt.

Man wählt zu diesem Zwecke einen Kondensator C (Fig. 124) von nicht zu großer Kapazität oder zwei in Serie geschaltete Leydener Flaschen, die parallel zu den Klemmen des Induktors gelegt werden. An eine Belegung des Kondensators wird eine veränderliche Selbst-

Fig. 124.



induktion L angeschlossen, die aus ungefähr 20 Windungen blankem Kupferdraht von 2 mm Durchmesser besteht, welche um eine Trommel aus gefirnißtem Holz von 30 cm Durchmesser und 40 cm Länge gelegt sind. Die Stromzuführung zu dieser Trommel geschieht durch Bürste und Schleifring, die Stromabnahme durch einen Rollkontakt.

Man schaltet zu Beginn des Abstimmungsversuches vorerst die ganze Selbstinduktion ein und verringert sodann durch Drehen der Trommel den Selbstinduktionskoeffizienten so lange, bis lebhaftes Funkensprühen eintritt.

Mit dieser Einrichtung lassen sich an der Sekundärwicklung des Transformators die Seibtschen Resonanzversuche (s. F. d. T. S. 137) sehr anschaulich darstellen. Es wird dann an Stelle der induktiven Koppelung der eine Pol der sekundären Wicklung an den primären Schwingungskreis leitend angeschlossen, wogegen der zweite frei bleibt.

Sobald durch entsprechendes Drehen der Trommel die Schwingungszahl des Kondensatorkreises mit jener der Spule gleich wird, also Resonanz besteht, tritt lebhaftes Funkensprühen an dem freien Pole der Spule auf.

Digitized by Google

Resonanz elektrischer Schwingungen. K. E. F. Schmidt[1]) suchte die Resonanzverstärkung und speziell das Verhältnis der Spannung mit Resonanz, zur Spannung ohne Resonanz, in einem durch eine Selbstinduktionsspule, einen Kondensator und einem induktionsfreien Widerstande geschlossenen Stromkreise einer Teslamaschine mittelhoher Frequenz (n = 2000 bis 5000), in seiner Abhängigkeit von der Größe der Selbstinduktion, der Kapazität und des Widerstandes festzustellen. Für niedere Frequenzen (n = 50—80) werden ähnliche Messungen von Feldmann (1892) und von Heinke (1897) bereits vorgenommen.

Die benützte, nach Frieses Angaben gebaute Teslamaschine erzeugte bei jeder Umdrehung des Ankers 240 Richtungswechsel des Stromes (von reiner Sinusform).

Bei Aufstellung der Resonanzkurve zeigte sich, daß für die Eigenresonanz eine Abweichung von 10 Schwingungen vom Punkte des Maximums genügt, um die Resonanzverstärkung um 25 % abfallen zu lassen. Die Kurve ist hier viel steiler als bei gekoppelten Systemen, bei welchen unter Umständen einer Abweichung von 90 Schwingungen ein Abfall von nur 4 % entspricht.

Die Selbstinduktion wurde zwischen 0,003 und 0,03 Henry abgeändert und stieg dabei die Resonanzverstärkung von 24 bis 49. Die aufgenommene Kurve war von der Form einer Hyperbel.

Dem Einflusse der Aenderung der Kapazität, welche von 0,5 bis 3,5 Mikrofarad abgeändert wurde, scheint ein sehr verwickeltes Gesetz zu Grunde zu liegen. Der erreichte Maximalwert betrug 35,7.

Die Abnahme der Resonanzverstärkung mit zunehmendem Widerstande (0,2 bis 3 Ohm) erfolgt nach einem parabolischen Gesetze.

Die elektrische Eigenresonanz reagiert bei der benützten Anordnung auf ganz geringe Aenderungen in den Versuchsbedingungen, und findet sich daraus sonach eine sehr empfindliche Methode, die Verteilung der magnetischen Kraftlinien um eine elektrische Schwingungen aufnehmende Induktionsrolle zu verfolgen, Hysteresisarbeit zu messen und ihre Abhängigkeit von Kraftliniendichte, Frequenz u. s. w. aufzusuchen.

Die Anwendung dieser Methode wird von dem Untersuchenden an einem Beispiel, nämlich an Dämpfungserscheinungen einer Induktionsrolle bei Einführung einer Reihe von Substanzen in deren Inneres gezeigt.

Resonanzversuche über das Verhalten eines einfachen

---

[1]) A. d. Ph., Bd. 14, S. 22.

Digitized by Google

Fritters[1]). F. Hodson knüpfte an die Resonanzversuche von Robinson an und benützte den gleichen Fritter wie dieser (s. d. F. d. d. T. II, S. 28, Fig. 15), nämlich zwei Stahlstäbchen, die an den gegeneinander zugewendeten Enden halbkugelförmig abgerundet waren.

Erreger und Empfänger bestanden aus fast geschlossenen Systemen, so daß nur ein sehr geringer Teil der Energie ausgestrahlt wurde, sohin die Dämpfungskonstante klein blieb. Die Wahl zweier paralleler Drähte für den Empfänger bot den Vorteil, die Selbstinduktion genau berechnen zu können.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind folgende: Ein aus einem einzigen Kontakte bestehender Fritter, dessen Anfangswiderstand 1000 Ohm oder weniger und dessen Endwiderstand annähernd 1 Ohm ist, verhält sich für Wellen, die länger als 40 m sind, als Leiter oder als unendlich große Kapazität. Für einen Endwiderstand von 10 bis 15 Ohm aufwärts zeigt der Fritter eine endliche Kapazität, so daß für Wellen von 40 bis 70 m Länge bei einem Endwiderstande von 20 Ohm die Länge eines einzelnen Drahtes der Leitung etwa 70 cm länger ist als die Viertelwellenlänge. Die scheinbare Kapazität des Fritters beträgt daher 500 cm für 40 m und 1500 cm für 70 m lange Wellen.

Dieser scheinbare Wert der Kapazität entspricht einem rein elektrostatischen Wert von 70 bis 170 cm, bei einem mittleren Widerstand des Fritters von ungefähr 100 Ohm.

Eine Reihe von Kontakten (sechs Stahlkugeln) verhält sich wie ein Leiter von 1 Ohm für den Kontakt, und verschlechtert sich mit der Zunahme des Endwiderstandes die Resonanz.

Mit dem Fritter an einem freien Ende ließ sich weder mit Wellen von 20 bis 40 m noch mit solchen von 5 bis 10 m Länge Resonanz nachweisen. In einem offenen Fritterkreise ist die Resonanz viel weniger scharf, wie in einer Parallel-Doppelleitung. Bei Wellen von 10 m Länge war der Resonanzwiderstand des Parallelsystemes etwa $^1/_4$ des Widerstandes außerhalb des Resonanzgebietes, dagegen bei offenem System etwa $^2/_3$ des Nichtresonanzwiderstandes.

Die Eigenperiode einer geradlinigen freiendigenden Drahtleitung mit einem Kondensator in der Mitte ist größer, als wenn die Drahtleitung zu einer Parallelleitung gebogen wird, an derem einen Ende ein Kondensator hängt, während das andere Ende offen ist.

---

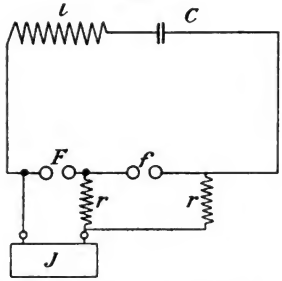
[1]) A. d. Ph., Bd. 14, S. 973.

Digitized by Google

Die halbe Eigenwelle eines 5 m langen Drahtes ist 4 % größer, eines 2,5 m langen Drahtes 8 % größer als die Drahtlänge und erklärt sich dies durch die Vergrößerung der Kapazität durch die umgebenden Körper.

Ueber die Dämpfung elektrischer Schwingungen durch eine Funkenstrecke[1]). K. Simons hat die dämpfende Wirkung der Funkenstrecke zum Gegenstand seiner Untersuchungen gemacht. Es stellt sich bei dieser Untersuchung der Dämpfung, welche eine Funkenstrecke in einem sonst möglichst ungedämpften Schwingungskreis bewirkt, auch die Frage, welchen Ohmschen Widerstand eine solche Funkenstrecke hat. Dieser soll nach Bjerknes 11 Ohm und nach Braun nur einige Zehntel Ohm haben. Zur Untersuchung dieses Widerstandes benützte Simons die Anordnung (Fig. 125), bei welcher neben einer die Schwingungen erregenden Entladefunkenstrecke F eine Dämpfungsfunkenstrecke f vorhanden war. Letztere wurde dann

Fig. 125.



in ihrer dämpfenden Wirkung durch selbstinduktionsfreie Widerstände aus Graphit und Bogenlampenkohle ersetzt. Zur Messung der Schwingungsamplituden wurde der Wellenmesser von Dönitz (s. d. F. d. D. II, S. 43) verwendet.

Nachstehend sind einige Versuchsergebnisse vorgeführt:

1. Entladefunke: 2,5 mm lang, bläulichweiß und knallend, Wellenlänge $\lambda_{max} = 508$ m.

Dämpfungsfunke:	
Länge	Ersatzwiderstand
1,0 mm	2,2 Ohm
1,5 mm	3,2 „

[1]) A. d. Ph., Bd. 13, S. 1044.

Digitized by Google

2. Entladefunke: 3 mm lang, bläulich, sogenannter unwirksamer Funke, Wellenlänge $\lambda_{max} = 790$ m.

Dämpfungsfunke:

Länge	Ersatzwiderstand
0,5 mm	2,7 Ohm
1,0 mm	4,6 „
1,5 mm	6,5 „

3. Entladefunke: 15,5 mm lang, Funke wie er zur Funkentelegraphie Verwendung findet, Wellenlänge $\lambda_{max} = 405$ m.

Dämpfungsfunke:

Länge	Ersatzwiderstand
4 mm	0,05 Ohm
13 mm	0,16 „

Der von Braun angegebene Wert für den Widerstand der Funkenstrecke bei der drahtlosen Telegraphie ist demnach der richtige. Die Messungen lassen aber auch den Schluß zu, daß der Widerstand einer Funkenstrecke umso geringer ist, je größer die entladenen Elektrizitätsmengen werden, d. h. je weißer und knallender der Funke auftritt, und daß innerhalb der beobachteten Grenzen der Widerstand proportional zur Länge der Funkenstrecke wächst.

E. Wellenmesser und Wellenmessungen.

Methode zur Messung der Länge elektrischer Oszillationen von P. Drude[1]). Ueber diese bereits im Jahre 1902 in den Ann. d. Phys. bekannt gegebene, aber unbeachtet gebliebene Methode wird neuerdings folgendes mitgeteilt.

Zur Messung der Wellenlänge wird ein Sekundärkreis mit dem zu messenden Primärkreise (Sender) auf Resonanz eingestellt. Der Sekundärkreis besteht aus einem Plattenkondensator, dessen Kapazität nach der Kirchhoffschen Formel berechnet oder experimentell festgestellt wird, und einer genau als Rechteck geführten Selbstinduktion, die nach den noch mitzuteilenden Formeln leicht zu berechnen ist. Als Dielektrikum für den Kondensator wird Luft, Petroleum oder Wasser benützt, weil Glas im allgemeinen elektrische Absorption zeigt und dessen Dielektrizitätskonstante von der Frequenz abhängt. Die Länge des Rechteckes ist durch einen mit der Hand verschiebbaren Drahtbügel veränderlich gemacht, und wird durch Verschieben dieses

[1]) E. T. Z. 1904, S. 19.

Digitized by Google

Bügels auf Resonanz eingestellt. Der Zeiger des Drahtbügels bewegt sich längs einer Skala, die leicht durch Rechnung auf Wellenlängen zu eichen ist.

Die beiden Platten des Kondensators werden durch Verschraubung unter Zwischenlage von drei kleinen Ebonitplättchen in festem Abstand voneinander gehalten und ist in jede der Platten ein kurzer Kupferdraht eingeschraubt, der mit dem freien Ende in federnde Oesen der Rechteckleitung einpaßt. Hierdurch wird das Meßinstrument in jeder Lage brauchbar und läßt sich der Kondensator leicht durch einen anderen ersetzen. Die Rechteckleitung ist so aufzustellen, daß sie von den magnetischen Kraftlinien des Senders geschnitten wird. Bei Sendern mit Luftdrähten ist sohin das Rechteck parallel zu diesen in der Nähe des Strombauches anzuordnen. Um größere Genauigkeit zu erzielen, ist mit möglichst schwacher magnetischer Kopplung zu arbeiten, diese muß aber doch so stark sein, daß der Wellenanzeiger am Meßapparat bei Resonanz noch deutlich anspricht. Als Wellenanzeiger ist am besten, beim Arbeiten im Laboratorium oder auch im Freien bei Dämmerung oder Nacht, eine Vakuumröhre mit elektrolytisch eingeführtem Natrium zu benützen, die eine Genauigkeit der Messung bis zu $^1/_4$ % leicht zuläßt. Beim Arbeiten im Hellen bedient man sich einer über die Kondensatorplatten geschobenen kleinen Funkenstrecke, mit welcher man bis zu $^1/_2$ % Genauigkeit arbeiten kann.

Ist C die Kapazität des Kondensators im elektrostatischen Maße, L die Selbstinduktion der Rechtecksleitung, a die längere und b die kürzere Rechtecksseite, ρ die halbe Drahtdicke der Meßleitung und λ die Wellenlänge, so ist

$$L = 4\,(a+b)\left(ln\,\frac{b}{\rho} - 1{,}31\,\frac{b}{a} + 1{,}06\left(\frac{b}{a}\right)^2\right)$$

$$\lambda = 2\,\pi\,\sqrt{CL} + \frac{\pi}{3}\,\frac{a^2}{\sqrt{CL}}.$$

In der zweiten Formel muß das letzte Glied klein gegen das erste sein und darf sonach a nicht zu lange gewählt werden, kann aber meist mindestens 2 m lang sein.

Mit nur wenigen Kondensatoren läßt sich ein Wellenbereich von $\lambda = 1$ m bis $\lambda = 300$ m bestimmen. Das Verfahren läßt sich auch zur Bestimmung der Kopplungskoeffizienten anwenden und erfolgt dies in sehr bequemer Weise, da eine Messung inklusive Aufstellung nicht mehr als 5 Minuten Zeit erfordert.

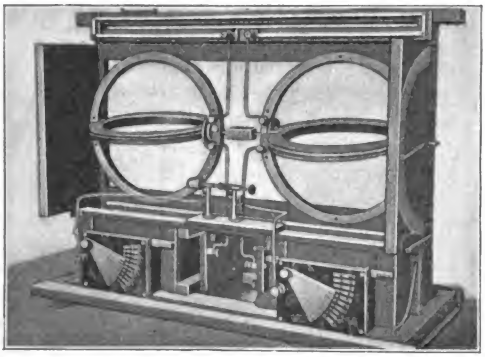
Der Vorteil dieses Verfahrens liegt sowohl in der Einfachheit,

Digitized by Google

als auch darin, daß selbst bei kurzen Wellen, durch die einfache Gestaltung des Sekundärkreises, dessen Eigenschwingungsperiode oder Wellenlänge nach den obigen Formeln genau berechnet werden kann. Ferner ist die Kapazitätsempfindlichkeit gegenüber dem Multiplikationsstabe von Slaby eine sehr geringe, die Maßstabsskala in λ leichter herzustellen und die Meßgenauigkeit eine größere.

Normalinstrument für die Messung der Wellenlänge elektrischer Schwingungskreise von Dr. Lee de Forest und Dr. James E. Ives[1]). Dieses für die „American de Forest

Fig. 126.



Wireless Telegraph Company" konstruierte Instrument ist in Fig. 126 in der äußeren Ansicht dargestellt. Die Ausmaße des Instrumentes sind 56 cm Höhe, 76 cm Breite und 37 cm Tiefe. Es ist in der Form durchaus symmetrisch und enthält zwei veränderliche Kondensatoren und zwei veränderliche Selbstinduktionen, die zu beiden Seiten einer Funkenstrecke angeordnet sind. Die Kondensatoren sind aus mit Stanniol belegten Glasplatten hergestellt und stark unterteilt, so daß die Kapazität mittels der aus der Figur erkennbaren sektorförmigen Schaltkurbeln geregelt werden kann. Die Selbstinduktionen bestehen aus je zwei konzentrischen Ringen aus 2,5 mm starkem Kupferdraht, deren jeder von einem Hartgummiring getragen wird. Die beiden äußeren Ringe sind starr in der lotrechten Ebene befestigt,

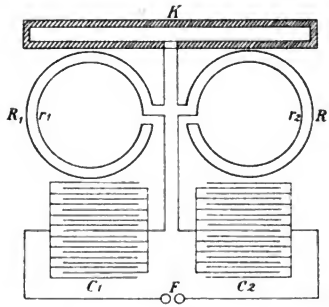
[1]) E. W. 1904. Bd. 43, S. 1074.

Digitized by Google

wogegen die beiden inneren Ringe auf einer gemeinsamen wagrechten, in der Ebene der äußeren Ringe gelegenen Achse lagern und mit der aus der Fig. 126 ersichtlichen seitlichen Kurbel gleichzeitig verdreht werden können.

Die beiden äußeren Ringe haben einen Durchmesser von 286 mm, die beiden inneren Ringe einen solchen von 244 mm. Verfolgt man die Verbindungen (Fig. 127), indem man von der Funkenstrecke F nach links oder rechts ausgeht, so ersieht man, daß je ein Draht vorerst zu dem Kondensator C_1 bezw. C_2 geht. Von der anderen Belagseite des Kondensators führt ein Draht zu dem inneren Ringe r_1 bezw. r_2 der Selbstinduktion, welcher mit dem äußeren Ringe R_1

Fig. 127.



bezw. R_2 durch einen Schleifkontakt verbunden ist. Das zweite Ende des äußeren Ringes steht gleichfalls über einen Schleifkontakt mit einem Drahte in Verbindung, welcher zu dem Kontaktrahmen K führt, der sich am oberen Teile des Instrumentes befindet. Dieser Kontaktrahmen besteht aus einem Messingstab von rechteckigem Querschnitt, welcher in Form eines rechteckigen Rahmens abgebogen ist. Die Abmessungen des Querschnittes dieses Stabes sind 6 : 3 mm.

Die Schleifkontakte bestehen aus zwei kleinen konzentrischen und flachen Messingringen, die an dem inneren Hartgummiring befestigt sind und mit zwei kleinen, an dem äußeren Hartgummiringe befestigten Metallbürsten in leitender Verbindung stehen. Wie schon angeführt, können sich die beiden inneren Ringe nur gemeinsam verdrehen, und ist die relative Stellung zwischen den festen und den beweglichen Ringen an einer Gradeinteilung abzulesen.

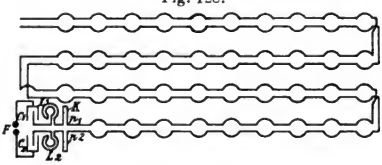
Digitized by Google

Jeder der beiden Kondensatoren besteht aus 43 quadratischen Glasplatten von 20 cm Seitenlänge, die mit Stanniol von 17,5 im Quadrat belegt sind. Die Dicke der Glasplatten schwankt zwischen 0,8 und 6 mm und gelangen die dicken Platten für kleinere Kapazitäten in Verwendung. Diese Platten sind in Gruppen von passender Kapazität geteilt, die durch den fächerartigen Kontakt an der Vorderseite und durch einen gleichartigen, in der Zeichnung nicht sichtbaren Kontakt an der Rückseite abgeschaltet werden können.

In dem Schalteschema (Fig. 127) stellen F die Funkenstrecke, $C_1 C_2$ die beiden Kondensatoren, $R_1 R_2$ die äußeren, $r_1 r_2$ die inneren Ringe der Selbstinduktionen und K den Kontaktrahmen dar, an welchem der Stromkreis, dessen Wellenlängen gemessen werden sollen, befestigt ist.

Für die Eichung des Instrumentes wurden Lechersche Drähte benützt, die sich dann mit einem Schwingungskreis in Resonanz befinden, wenn ihre Länge gleich einem Viertel oder einem ungeraden Vielfachen von einem Viertel der Wellenlänge dieses Stromkreises ist. Zu diesem Zwecke wurden zwei blanke Kupferdrähte von 2,5 mm Durchmesser mit einem Abstand von 15 cm innerhalb der Mauern eines annähernd 37 m langen und 15 m breiten Bodenraumes parallel zueinander und in einem Abstande von 1,2 m vom Fußboden in vier Reihen ausgestreckt und die Enden der einzelnen Paralleldrähte, wie dies Fig. 128 zeigt, kreuzweise miteinander verbunden. Die Gesamt-

Fig. 128.



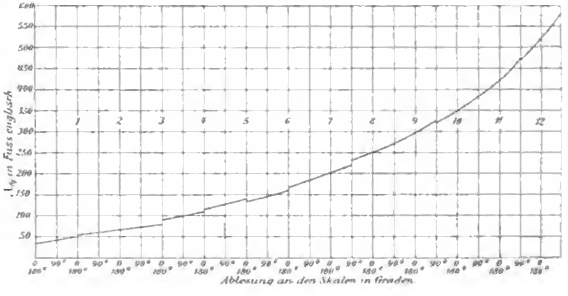
länge dieser Drähte betrug 150 m. Diese Drähte waren durch Durchschneiden in Längen von 3 m unterteilt und die Drahtenden in Schlingenform gebogen. Die einzelnen Enden wurden mittels einer starken Schnur verknüpft. Im Bedarfsfalle konnten diese Drähte durch kurze Stücke der gleichen Drahtsorte, die genau in die Schlingen einpaßten, verbunden werden. Auf diese Weise konnten die parallelen Drähte jede gewünschte Länge erhalten.

Um die Eichung durchzuführen, wurden die beiden parallelen

Digitized by Google

Drähte mit dem Kontaktrahmen K des Instrumentes an den Punkten p_1 p_2 verbunden und sodann das Instrument durch ein kleines Induktorium erregt, so daß Funken zwischen den Funkenkugeln der Funkenstrecke F übersprangen und hierdurch in dem Instrumente elektrische Schwingungen hervorriefen. Diese Schwingungen übertragen sich nun auf die Lecherdrähte. Sodann wurde eine Geißlerröhre der Quere nach über die freien Enden der Lecherdrähte gehalten und die Kapazität des Instrumentes so lange geändert, bis die Röhre zu glühen begann. Die endgültige Einstellung erfolgte durch Verdrehung der inneren Ringe der Selbstinduktion, bis das Glühen der Röhre den Höchstwert erreichte. Das Instrument und die Lecherdrähte befinden sich

Fig. 129.



sodann in Resonanz und die Viertelwellenlänge des Normalinstrumentes ist gleich der Länge der parallelen Drähte. Diese Arbeit wurde gegen 50mal wiederholt, wobei jedesmal bei einer Länge der Drähte von 12 m ausgegangen und von 3 zu 3 m bis zu einer Länge der Drähte von 150 m vorgeschritten wurde.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in der Eichungkurve (Fig. 129) wiedergegeben. Diese Kurve ist in 12 Sektionen eingeteilt, deren jede einer bestimmten Anzahl von Kondensatorplatten entspricht.

In dieser Kurve sind die Ablesungen an den Skalen als Abszissen und die Viertelwellenlängen als Ordinaten aufgetragen. Die Kurve verläuft gebrochen, da es unmöglich war, die Kapazitäten der sich folgenden Sektionen der Kondensatoren so genau herzustellen, daß die verschiedenen Teile der Kurve aufeinander passen konnten.

Um die Genauigkeit der experimentellen Eichung zu prüfen, wurde die Viertelwellenlänge des Normalinstrumentes für jede Ab-

Digitized by Google

teilung des Kondensators bei der Lage der beweglichen Ringe für das Maximum der Selbstinduktion berechnet. Dies zwang die Kapazität der einzelnen Abteilungen der Kondensatoren zu messen und das Maximum der Selbstinduktion zu berechnen.

Für die Berechnung der Wellenlängen diente die bekannte Formel

$$\lambda = 2\,\pi\,v\sqrt{L\,C},$$

in welcher λ die Wellenlänge, v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen, welche für diesen Fall mit 3×10^{10} cm in der Sekunde angenommen wurde, L die Selbstinduktion und C die Kapazität bedeutet.

Die Selbstinduktion des Normalinstrumentes ist gleich der Summe der zwei vorgesehenen symmetrischen Selbstinduktionen und die Kapazität gleich der halben Kapazität eines der beiden Kondensatoren. Die gesamte maximale Selbstinduktion des Instrumentes wurde mit 5830 absoluten Einheiten oder Abhenries bestimmt, wovon auf die konzentrischen Ringe 4910 und auf die Selbstinduktion der übrigen Teile des Kreises 920 Abhenries entfielen.

Die Selbstinduktion des gesamten Kreises setzt sich wie folgt aus 6 Teilen zusammen:

$$L = L_1 + L_2 + 2\,M_{12} + L_3 + L_4 + 2\,M_{34},$$

wobei L_1 die Selbstinduktion des äußeren und L_2 die Selbstinduktion des inneren Ringes der linkseitigen Selbstinduktion, M_{12} ihre wechselseitige Induktion, L_3 die Selbstinduktion des äußeren und L_4 die des inneren Ringes der rechtseitigen Selbstinduktion und M_{34} deren wechselseitige Induktion bedeutet.

Da aber $L_1 = L_3$, $L_2 = L_4$ und $M_{12} = M_{34}$ ist, vereinfacht sich die Formel und man erhält

$$L = 2\,L_1 + 2\,L_2 + 4\,M_{12}.$$

L_1 und L_2 wurden nach der Formel

$$L = 4\,\pi\,R\,log_e\frac{R}{g} + 0{,}8$$

und M_{12} nach der Formel

$$M = 4\,\pi\,R_1\left(log_e\frac{R_1}{d} + 0{,}8\right)$$

berechnet, wobei R in der ersten Formel den Halbmesser des Drahtringes und g den Halbmesser des Drahtquerschnittes, und R_1 in der zweiten Formel den Halbmesser des inneren Ringes und d den Abstand der beiden Ringe darstellt.

Digitized by Google

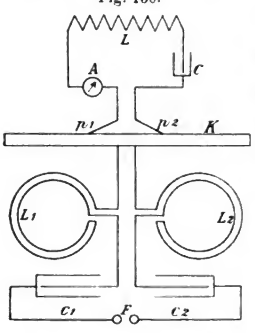
Die Berechnung ergab gegenüber den durch die Eichung bestimmten Wellenlängen etwas geringere Werte, die jedoch zwei bis drei vom Hundert nicht überschritten. Die Ursache lag darin, daß die Eichung nur mit einfachen Viertelwellenlängen in den Lecherschen Drähten durchgeführt wurde. Ganz genaue Ergebnisse werden jedoch erhalten, wenn man die Länge der Drähte so bemißt, daß sie dreiviertel einer Wellenlänge oder sonst ein ungerades Vielfaches einer Viertelwellenlänge darstellen.

Als Vorteil der symmetrischen Form des Instrumentes wird angegeben, daß für die Eichung Lecherdrähte angewendet werden können, die ein einfaches und genaues Eichen ermöglichen.

Dadurch, daß die beiden inneren Ringe der Selbstinduktionen gemeinsam um eine wagrechte Achse drehbar sind, bleibt die wechselseitige Induktion während der Drehung der Ringe konstant, und sind daher die Ablesungen genau. Auch stellt dies ein sehr bequemes Mittel dar, die Selbstinduktionen innerhalb der gegebenen Grenzen zu verändern.

Für die Feststellung der Resonanz wurden sowohl Funkenstrecken als auch Geißlerröhren benützt und hierbei gefunden, daß beide die gleichen Ergebnisse liefern. Weder die Geißlerröhre noch die Funkenstrecke übt einen bemerkbaren Einfluß auf die Wellenlänge in den Drähten aus.

Fig. 130.



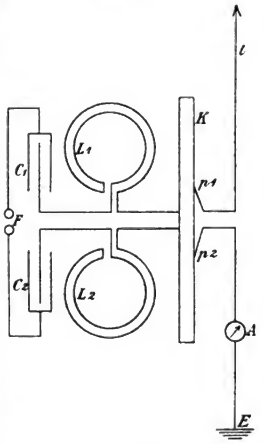
Bei Durchführung der Messungen konnte eine Störung durch Obertöne nicht bemerkt werden, und wurden solche auch tatsächlich nicht beobachtet.

Die Durchführung der Messungen gestaltet sich nun wie folgt: Soll die Wellenlänge eines geschlossenen Stromkreises A L C (Fig. 130) bestimmt werden, so wird er an einer passenden Stelle aufgeschnitten und werden die so gewonnenen Enden mit dem Kontaktrahmen an den Punkten p_1 p_2 verbunden. Er ist auf diese Weise mit dem Stromkreise des Normalinstrumentes gekoppelt, und werden daher, wenn dieser Stromkreis durch einen Funken bei F in Schwingungen versetzt wird, auch in dem zu messenden Kreise sowohl Schwingungen der Stromstärke als auch des Potentiales entstehen, wenn dessen Widerstand nicht zu groß ist. Die Stärke des oszillierenden Stromes zeigt sich an

Digitized by Google

dem Hitzdrahtampèremeter A, welches in der Nähe eines Schwingungsbauches des Stromes eingestellt wird. Haben die beiden Kreise die gleichen Schwingungsperioden, so wird nach dem Grundsatze der Resonanz die auftretende Störung ihr Maximum erreichen. Die Selbstinduktion und Kapazität des Meßstromkreises wird nun so lange geändert, bis das Ampèremeter den Höchstausschlag gibt. Die an der Teilung des Meßinstrumentes abzulesende Wellenlänge ist sodann gleich jener des zu messenden Stromkreises.

Fig. 131.



Die Größe der elektrischen Störung in dem zu messenden Kreise läßt sich durch Aenderung der Entfernung der beiden Anschlußpunkte $p\,p_1$ nach Bedarf regeln. Durch Näherrücken dieser Punkte kann der Ausschlag des Ampèremeters so klein gemacht werden, als es gewünscht wird.

Die Verbindungsdrähte, welche von dem zu messenden Kreise zu dem Kontaktrahmen führen, sollen sehr stark und so nahe als möglich aneinandergerückt sein, um die Selbstinduktion dieses Teiles des Stromkreises so viel als möglich herabzumindern. Sind die Drähte isoliert, so ist es am besten, sie gegenseitig zu verdrehen. Der Kontaktrahmen ist verhältnismäßig sehr stark und kann daher die hierdurch in den zu messenden Kreis eingeführte Selbstinduktion in der Regel vernachlässigt werden.

Behufs Messung der Wellenlänge in einem offenen Stromkreise, wie beispielsweise eines geerdeten Luftdrahtes, wird der Draht an irgend einem passenden, möglichst nahe zur Erde gelegenen Punkte aufgeschnitten und mit dem Meßinstrumente verbunden (Fig. 131). Es bedeutet hier l den Luftdraht, A das Hitzdrahtampèremeter und E die Erde.

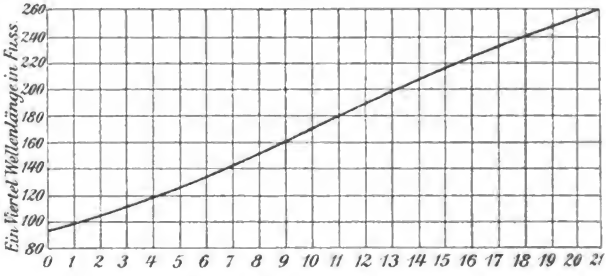
Ueber den Einfluß der Einschaltung von Windungen einer schraubenförmigen Selbstinduktionsspule auf die Wellenlänge[1]). Dr. James E. Eves hat mit dem vorstehend zur Beschreibung gelangten Wellenmesser eine Reihe von Messungen

[1]) E. W., Bd. 43, S. 260.

Digitized by Google

durchgeführt, um den Einfluß festzustellen, den die Einschaltung von Selbstinduktionswindungen auf die Wellenlänge von Luftdrähten, von geschlossenen Schwingungskreisen und von beiden in Kopplung ausübt. Die Ergebnisse dieser Messungen erscheinen graphisch nieder-

Fig. 132.



gelegt und dürften für manchen mit dem Gegenstande vertrauten einiges Interesse bieten, so daß deren Vorführung hier gerechtfertigt erscheint. Bedauerlicherweise sind hier als Längenmaße englische Fuß angewendet, wodurch sich für den mit dem Metermaß zu arbeiten Gewohnten einige Schwierigkeiten für die Beurteilung ergeben. Eine Umrechnung der Längenangaben auf Meter würde, da in den Ergeb-

Fig. 133.

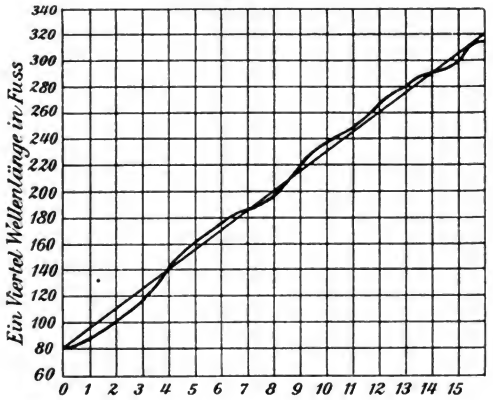
nissen Dezimalen zum Vorschein kommen müßten, die allgemeine Uebersicht erschweren. Es wurde daher in den Zeichnungen und auch im Texte das englische Maß beibehalten und sei für jene, welche die Umrechnung vollziehen wollen, angeführt, daß ein Zoll engl. $= 0{,}02539954$ und ein Fuß engl. $= 0{,}3047945$ m ist.

Fig. 132 zeigt den Einfluß der Einschaltung der Windungen (Horizontalzahlenreihe) der Selbstinduktion auf die Wellenlänge. Das Schema der Verbindungen zeigt Fig. 133. a stellt hier das Sendegebilde dar, welches aus zwei ungefähr einen Fuß voneinander entfernten Drähten bestand und 62 Fuß lang war. Die Induktionsrolle h hatte 1 Fuß im Durchmesser und bestand aus 21 Windungen des gleichen Drahtes wie der Luftdraht, die 1 Zoll voneinander abstanden. Die Erdverbindung e bestand aus einem einfachen Drahte von Fuß 27 Länge, so daß das gesamte Sendesystem, von der Erde ab gemessen, 89 Fuß hoch war.

Digitized by Google

Die Kurve in Fig. 132 zeigt einen nahezu geradlinigen Verlauf, wie dies auch zu erwarten war, indem die Wellenlänge sich im Verhältnisse zur Quadratwurzel der Selbstinduktion und diese wieder annähernd im Quadrate zur Anzahl der eingeschalteten Windungen ändert. Dies läßt sich mathematisch wie folgt erweisen.

Fig. 134.



Ist v die Geschwindigkeit von Licht- oder elektrischen Wellen in der Luft,

n die Frequenz der elektrischen Schwingungen im Luftdraht,

λ die Wellenlänge,

T die Schwingungsperiode,

L die Selbstinduktion des Sendedrahtes und

C dessen Kapazität, so ist

$$v = n\lambda \text{ oder } \lambda = \frac{v}{n},$$

$$n = \frac{1}{T},$$

$$T = 2\pi \sqrt{LC},$$

$$\lambda = 2\pi v \sqrt{LC}.$$

Nun ist annähernd

$$L = k^2 n^2,$$

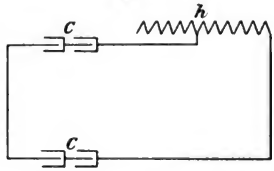
Digitized by Google

worin k eine von der Form und der Größe der Selbstinduktionswindungen abhängige Konstante ist und man erhält daher

$$\lambda = 2\pi . v . k . n \sqrt{C} . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

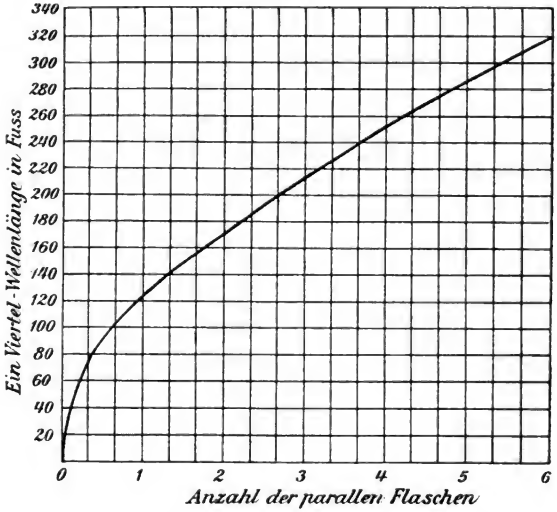
C d. i. die Kapazität des Luftdrahtes läßt sich für einen Luft-

Fig. 135.



draht von gegebener Höhe als eine Konstante betrachten, da sich an dem freien Ende des Drahtes ein Bauch und an der Erde ein Knoten

Fig. 136.



der Spannung ausbildet, sohin die Ladung, welche er aufzunehmen vermag, nicht wesentlich durch Einschalten von Windungen der Selbst-

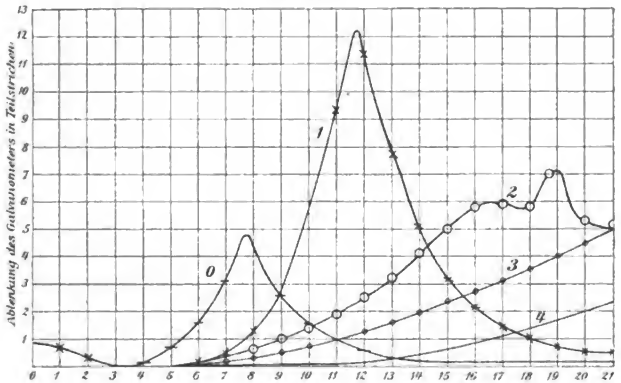
Digitized by Google

induktion nahe am Boden geändert werden kann. Man erhält sonach, da $2\pi v k \sqrt{C}$ konstant bleiben,

$$\lambda = n \times \text{Konstante}.$$

Die Kurve (Fig. 134) zeigt, wie sich die Wellenlänge eines geschlossenen schwingenden Kreises, in welchem vier Leidener Flaschen in Serie geschaltet sind, durch Einschalten von Windungen der gleichen Selbstinduktionsspule ändern. Das zugehörige Schaltungsschema zeigt Fig. 135. Die Kurve ändert sich unregelmäßig nach beiden Seiten der geraden Linie, doch ist anzunehmen, daß die Linie

Fig. 137.



eine gerade ist und die Unregelmäßigkeit nur auf Ungenauigkeit der Beobachtung beruht.

Die Kurve (Fig. 136) bezieht sich auf die Aenderungen der Wellenlänge in einem geschlossenen Kreise, wie sich solche ergibt, wenn die Selbstinduktion des Kreises ungeändert bleibt, dagegen die Zahl der eingeschalteten Leidener Flaschen unter Parallelschaltung geändert wird. Die erhaltene Kurve ist parabolischer Form, wie dies aus Gleichung (1) erwartet werden kann. Die Wellenlänge ändert sich hier mit der Quadratwurzel aus der Kapazität.

Die Kurven in Fig. 137 wurden erhalten, indem der Luftdraht und der geschlossene Stromkreis so miteinander gekoppelt wurden, daß stets eine Anzahl der Windungen der Selbstinduktion beiden Kreisen gemeinsam ist (Fig. 138). Die Funkenstrecke befindet sich

Digitized by Google

in dem geschlossenen Kreise, und werden die in diesem erregten Schwingungen auf den Luftdraht übertragen. Es bedeutet in dieser Figur a den Luftdraht, h die veränderliche Selbstinduktion, e den zur Erde E führenden Teil des Luftdrahtes, g ein Hitzdrahtampère-

Fig. 138.

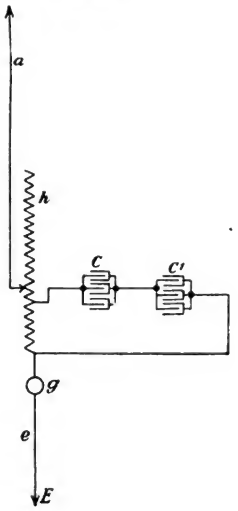
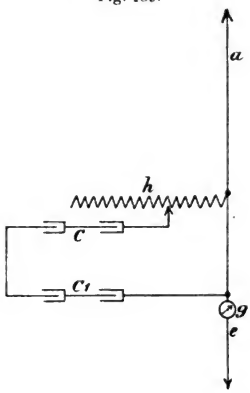


Fig. 139.



meter und cc_1 zwei Serien von je drei Leidener Flaschen. Die Funkenstrecke wurde durch eine Induktionsrolle erregt.

Bei Kurve 0 war nur ein Bruchteil einer Windung der Selbstinduktion in den geschlossenen Kreis geschaltet,

„ „ 1 war eine Windung der Selbstinduktion in den geschlossenen Kreis geschaltet,

„ „ 2 waren zwei Windungen der Selbstinduktion in den geschlossenen Kreis geschaltet,

„ „ 3 waren drei Windungen der Selbstinduktion in den geschlossenen Kreis geschaltet,

„ „ 4 waren vier Windungen der Selbstinduktion in den geschlossenen Kreis geschaltet.

Es zeigt sich aus diesen Kurven deutlich, wie der im Luftdrahte

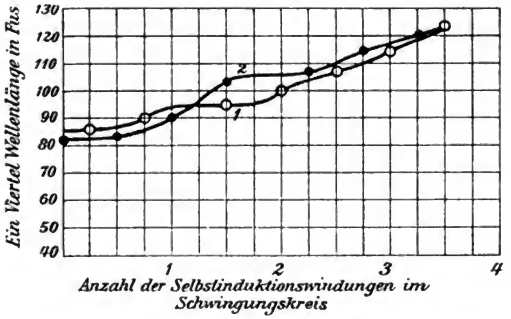
Digitized by Google

zirkulierende Schwingungsstrom sich vergrößert, wenn die beiden Kreise in Resonanz gebracht werden. Bei den Kurven 3 und 4 hätte es einer größeren Anzahl als 21 Windungen der Selbstinduktionsspule im Luftdrahte bedurft, um Resonanz zu erzielen.

Die Unregelmäßigkeit in der Nähe des Gipfels der Kurve 2 findet möglicherweise in einem Oberton ihre Begründung.

Es wurde ferner noch festzustellen gesucht, welchen Einfluß die Koppelung mit dem Luftdrahte auf die Wellenlänge des geschlossenen

Fig. 140.



Kreises ausübt. Zu diesem Zwecke wurde vorerst die Wellenlänge des geschlossenen Kreises ohne angehängten und sodann mit angehängtem Luftdraht gemessen. Der Charakter des geschlossenen Kreises wurde durch schrittweise Ein- und Ausschaltung von Windungen der Selbstinduktion geändert und zeigt Fig. 139 die hierfür gewählte Verbindungsanordnung.

Die durch kleine Kreise gekennzeichnete Kurve 1 (Fig. 140) läßt die Wellenlängen mit angehängtem und die durch runde volle Punkte hervorgehobene Kurve 2 die Wellenlängen ohne Luftdraht ersehen. Diese Kurven kreuzen sich bei einer Viertelwellenlänge von 96 Fuß, welche der Viertelwellenlänge des Luftdrahtes ohne eingeschaltete Selbstinduktion entspricht. Aus der Figur ist ferner zu ersehen, daß die beiden Kurven nach Einschaltung von $3^1/_2$ Windungen zusammentreffen.

Bei weiterer Einschaltung von Selbstinduktionswindungen zeigte sich keine Abweichung der beiden Kurven mehr, und vereinigen sie sich daher zu einer Kurve. Hieraus ergibt sich, daß, wenn die

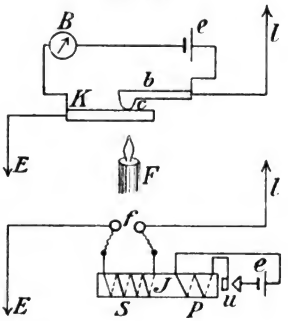
Digitized by Google

Wellenlänge des Luftdrahtes in der Nähe jener der geschlossenen Kreise liegt, sich die Wellenlänge dieses Kreises durch Koppelung mit dem Luftdrahte verringert oder vergrößert, je nachdem die Wellenlänge dieses Kreises für sich kleiner oder größer als jene des Luftdrahtes ist.

F. Wellenanzeiger.

Der heiße Oxydfritter von Max Hornemann[1]). Der heiße Oxydfritter (Fig. 141) besteht aus einem Kupferbleche k von 0,5 mm Dicke, 5 cm Breite und 10 cm Länge, welches durch die untergeschobene Flamme F erhitzt werden kann, und dem Blei-

Fig. 141.



streifen b von 1 mm Dicke, 1 cm Breite und 10 cm Länge. Der Bleistreifen ist an dem Ende, mit welchem er auf das Kupfer gelegt wird, hakenförmig umgebogen und abgerundet, um das Kupfer möglichst nur punktförmig zu berühren, und ist mit dem negativen Pol eines Elementes e von geringer elektromotorischer Kraft verbunden. Zwischen dem positiven Pol und dem Kupferstreifen wird ein Telephon oder ein Galvanometer B geschaltet.

Um den Apparat zu benutzen, wird das Kupferblech, bevor das Blei aufgelegt wird, durch die untergeschobene Flamme an einer Stelle so erhitzt, daß sich an seiner Oberfläche ein dünner Ueberzug von schwarzem Kupferoxyd (Kupferhammerschlag) bildet. Sodann entfernt man die Flamme und legt, sobald das Kupfer kalt geworden

[1]) A. d. Ph., Bd. 14, 1904, S. 182.

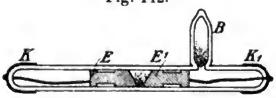
Digitized by Google

ist, den Bleistreifen auf die oxydierte Stelle des Kupfers auf. Die Oxydschicht läßt im kalten Zustande keinen nennenswerten Strom hindurch und die Galvanometernadel wird jetzt gar nicht oder nur unbedeutend abgelenkt. Erhitzt man nun das Kupferblech von neuem, dann geht mehr Strom durch das Galvanometer. Man erhitzt jetzt am besten seitlich, um das Abschmelzen des Bleies zu hindern, und wird die Hitze so reguliert, daß die Galvanometernadel einen Ausschlag von 20 bis 60° anzeigt.

Läßt man jetzt bei f des Senders Fünkchen überschlagen, so geht die Nadel durchschnittlich um 8° zurück und bleibt während der Dauer der Bestrahlung so stehen, um nach deren Aussetzen wieder von selbst in die frühere Lage zurückzukehren.

Bei zu starker elektrischer Erschütterung durch größere Funken wirkt der heiße Oxydfritter wie eine Branlysche Röhre, d. h. die Nadel wird plötzlich bis zum Maximum abgelenkt und kehrt nach

Fig. 142.



Aussetzen der Bestrahlung erst nach Beklopfen des Kontaktes in die empfindliche Anfangsstellung zurück.

Aehnlich ist die Erscheinung, wenn man die Schaltung des Elementes umkehrt, also den positiven Pol des Elementes mit dem Bleistreifen verbindet.

Um diese Erscheinung zu erklären, ist die elektromotorische Kraft des Thermostromes in Betracht zu ziehen, welche der elektromotorischen Kraft des Elementes entgegenwirkt und vermutlich durch die elektrische Bestrahlung verstärkt wird.

Der Fritter von Tissot[1]). Dieser Fritter (Fig. 142) besteht aus zwei Metallelektroden EE_1 von 3—5 mm im Durchmesser, die an den Enden abgeschrägt sind, so daß sie ähnlich wie bei dem Fritter von Slaby-Arco mit den einander zugekehrten Enden einen keilförmigen Spalt bilden, in welchem das Frittpulver sich befindet. Zwei Drähte führen von diesen Elektroden durch das sie umhüllende Glasrohr und enden in zwei Metallkappen KK_1, die auf das Glasrohr aufgesetzt sind. Seitlich ist an das Glasrohr eine zweite kleinere Glasröhre B angeschmolzen, die oben abgeschlossen und mit Chlorcalcium gefüllt

[1]) E. W., Bd. 44, S. 97.

Digitized by Google

ist. Diese Röhre steht mit dem inneren Hohlraum der Hauptröhre in Verbindung und hat die Aufgabe, die Luft trocken zu erhalten bezw. zu trocknen. Ueber die Materialien, aus welchen die Elektroden und die Füllung bestehen, ist bisher nichts verlautbart. Sofern diese Materialien keine besonderen Eigenheiten aufweisen, unterscheidet sich dieser Fritter von den bekannten Frittertypen nur dadurch, daß die Chlorcalciumröhre hinzugefügt wurde.

Der Fritter von Rochefort[1]). Die bei Frittern unvermeidlichen Elektroden E E_1 bestehen hier (Fig. 143) aus kleinen konzentrischen Zylindern von weichem Eisen, die im Innern mit Glas oder Hartgummi ausgefüllt sind. Der linke Eisenzylinder (Fig. 143) ist direkt mit dem Einführungsdrahte verbunden. Der rechtsseitige Einführungsdraht ist hingegen mit einem Kupferstäbchen verbunden, welches durch das isolierte Innere der beiden, durch einen schmalen Zwischenraum getrennten Zylinder getrieben ist, so daß zwischen den

Fig. 143.

beiden Elektroden ein ringförmiger Raum besteht, der mit Feilspänen aus weichem Eisen angefüllt ist. Außerdem ist in die Röhre ein kleines mit Chlorcalcium gefülltes Schüsselchen S eingesetzt, um den Innenraum trocken zu erhalten. Die Einführungsdrähte sind in die Enden der Glasröhre eingeschmolzen und an die auf die Röhrenenden aufgesetzten Metallkappen angelötet. Ein Hufeisenmagnet wird nun so angeordnet, daß der Fritter in dessen magnetischem Felde liegt. Werden die Feilspäne durch elektrische Schwingungen zusammengefrittet, so verstärken die magnetischen Kraftlinien die Wirkung.

Der Fritter von C. Schniewindt[2]). Dieser Fritter besteht aus einem feinen Drahtgewebe aus gut leitendem Material, welches so durchschnitten wird, daß kein Draht von einem Ende zum anderen zusammenhängend verläuft, wodurch es nur aus lauter kurzen Drahtstücken gebildet erscheint. Eine Ausführungsform dieses Fritters besteht darin, daß ein rundes Stück Drahtgaze durch einen in einer Spirallinie geführten Schnitt in eine Anzahl von Windungen getrennt wird, deren Drähte mit ihren Enden die Kante der Windung bilden. Der Schnitt kann aber ebensogut in Schlangenlinien oder Zickzackform

[1]) E. W., Bd. 44, S. 97.
[2]) E. T. Z. 1904, S. 236.

Digitized by Google

oder auch geradlinig geführt werden, wobei die Streifen abwechselnd an dem einen oder dem anderen Ende zusammenhängen, indem die Schnittlinien nicht ganz durchgeführt werden. Durch diese Zerlegung der das Drahtnetz bildenden Drahtlängen in einzelne kurze Teile wird der Widerstand des Netzes unendlich groß gemacht. Wird jedoch ein solchergestalt unterteiltes Drahtnetz von elektrischen Wellen getroffen, so werden die sich berührenden kurzen Drahtstücke ganz in der gleichen Weise, wie dies bei den Metallpulverfrittern eintritt, leitend. Durch Schlagen oder Klopfen auf das Netz werden die Berührungsstellen unterbrochen und der Drahtgazefritter erhält wieder seinen anfänglichen unendlich großen Widerstand.

Der Fritter von L. Dorman[1]). Auf einem Sockel befinden sich zwei aufrechte parallele Ständer, deren jeder von einem Loche durchbrochen ist, in welchen die Enden einer mit Messinghülsen versehenen Glasröhre eingeschoben werden, wobei die Hülsen auf einem Ansatze der Ständer ruhen. Durch die Mitte der Hülsen dringen zwei Stäbe in das Innere der Glasröhre, welche durch Spiralfedern gegeneinander gedrückt werden, um den Einfluß der Bewegung der fadenförmigen Teile zu behindern. Zwischen den beiden Enden der Stäbe befindet sich ein Quecksilbertropfen, welcher sich innerhalb der Glasröhre frei bewegen kann. Der wichtigste Teil der Erfindung besteht jedoch darin, daß der Quecksilbertropfen vorerst mit einer Umhüllung von Mineralöl, sodann mit einem Belage von äußerst feingepulvertem Eisenoxyd, Schmirgel, Kohle und verschiedenen Metalloxyden umkleidet wird. Dieser Fritter ist selbstentfrittend und soll nach den Angaben des Erfinders viel energischer wirken, viel dauerhafter und viel unempfindlicher gegen atmosphärische Wellen sein als andere Fritter.

Der Wellenanzeiger von J. Härdén[2]) besteht aus einer Vakuumröhre D (Fig. 144), welche mit einem größeren Gefäße B in Verbindung steht. In die Röhre D sind zwei Platindrähte eingeschmolzen, die eine Funkenstrecke d von 2 mm Länge abschließen. Der eine dieser beiden Drähte ist mit dem Luftdrahte, der andere mit der Erde verbunden. Die beiden verbundenen Gefäße D und B werden so weit luftleer gemacht, daß die Leitfähigkeit des Gases, an den Elektroden c c gemessen, ihren größten Wert erreicht. Im Nebenschlusse zu den Elektroden liegt ein Galvanometer g oder ein sonstiger Empfangsapparat und eine Batterie b. Werden in dem Luftleiter elektrische

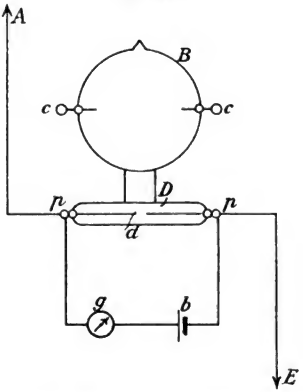
[1]) Electrical Review (N. Y.), Bd. 43, S. 748.
[2]) E. T. Z. 1904, S. 1118.

Digitized by Google

Schwingungen erregt, so findet bei d ein Funkenübergang statt und wird hierdurch der Lokalstromkreis geschlossen und das Empfangsinstrument spricht an. Sobald die Schwingungen des Luftdrahtes verschwinden, hört auch der Funkenübergang und somit auch die Leitfähigkeit auf und ist somit die Entfrittung eine selbsttätige. An Stelle der Vakuumröhre eine Quecksilberdampflampe eingesetzt und als Lokalstromquelle eine Batterie von 200 Volt verwendet, findet durch starke elektrische Schwingungen ein Aufleuchten der Lampe statt.

Der Fritter von Nevil Maskelyne[1]). Dieser Fritter, von dem Erfinder „Konjunktor" genannt, besteht (Fig. 145) aus einem kurzen Glasröhrchen c, auf dessen Enden Metallkappen 9 aufgesetzt sind. Durch diese Kappen gehen die Stahlstäbe 10, deren innere

Fig. 144.



Enden halbkugelförmig abgerundet und auf Hochglanz poliert sind. Die beiden Halbkugeln sind etwa 5 mm voneinander entfernt und wird der Zwischenraum durch einen Hohlzylinder 11 aus Stahl überbrückt, dessen innerer Durchmesser geringer ist, als der Durchmesser der Halbkugeln, auf welchen er lose aufsitzt. Die Enden des Zylinders sind schräg geschnitten, so daß die Schneiden messerscharf werden. Vor Gebrauchnahme werden Stäbe und Zylinder in einem Platintiegel so lange erhitzt, bis sie mit einer blaßgelben Oxydschicht überzogen sind. Nach dem Einsetzen der Stäbe und des Zylinders in das Glas-

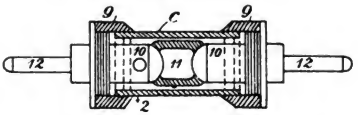
[1]) The Electricien, 14. Okt. 1904.

Digitized by Google

röhrchen c wird das Ganze luftdicht verschlossen. Einer der Stäbe 10 ist außerdem noch durchbohrt und mit einer Masse angefüllt, welche die etwa noch vorhandene Luftfeuchtigkeit aufsaugt. Durch die Oxydschicht wird dieser Fritter für Ströme niederen Potentials nichtleitend, wogegen ihn elektrische Schwingungen in den leitenden Zustand überführen. Um diesen Fritter wieder in den nichtleitenden Zustand überzuführen, wird er durch die Ankerbewegung eines Klopfers geschüttelt.

Der selbstfrittende Wellenanzeiger von Peters[1]). Bisher war es üblich, den Fritter so zu schalten, daß der Ortsstromkreis durch den an dessen Enden ausgelegten Fritter geschlossen wurde. Hierdurch waren die Stromwege für die in dem Luftdrahte induzierten Wellenströme und für den von der Ortsbatterie gelieferten Strom miteinander so verbunden, daß der Ortsstromkreis den Fritter überbrückte. Da der Widerstand des Ortsstromkreises im Verhältnisse zu dem Widerstande des Fritters ein sehr geringer ist, geht ein großer Teil der vom Luftdrahte aufgenommenen Energie über den Ortsstrom-

Fig. 145.



kreis um den Fritter herum zur Erde und kann daher nicht zur Wirkung gelangen. Die Zeichen versagen infolgedessen oft oder prägen sich nicht scharf genug aus. Diesem Uebelstande suchte man allerdings dadurch zu begegnen, daß man Selbstinduktionen in den Ortsstromkreis schaltete, welche den Wellenströmen den Durchgang verwehren sollen, allein es scheint, wie dies die noch immer nicht vollkommen entsprechende Sicherheit des Empfanges erweist, der erstrebte Zweck doch nicht voll erreicht zu sein. Um diesen Uebergang hintan zu halten, trennt Peters den Lokalstromkreis gänzlich von dem Wellenstromkreise in der Weise, daß der Lokalkreis erst dann zur Wirkung gelangt, wenn die Frittung bereits vollzogen ist. Hierbei wirkt der Lokalstrom noch unterstützend auf die Frittung ein, so daß die Zeichen sicher erscheinen. Als Beweis für die Empfindlichkeit dieses Wellenanzeigers wird angegeben, daß er nachweisbar

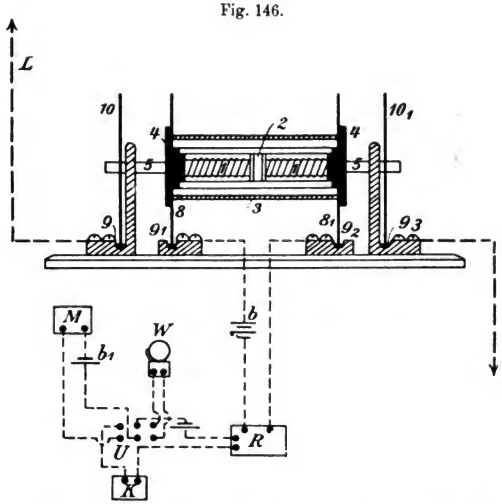
[1]) E. W., Bd. 43, S. 994.

Digitized by Google

in mehreren Fällen noch über eine Entfernung von 4—8 km auf den Oeffnungsfunken einer Trockenzelle ansprach.

Der Fritter (Fig. 146 und 147) besteht aus zwei einander gegenüberstehenden Elektromagneten 1, 1_1, zwischen denen sich der Raum für die Feilspäne 2 befindet. Diese Elektromagnete sind in eine Glasröhre 3 eingesetzt, welche durch isolierende Platten 4 abgeschlossen ist. Als Kern für die Elektromagnete dienen weiche Eisendrähte, die um den Schaft 5 angeordnet und an dem den Feilspänen zugekehrtem Ende durch einen Ring 6 von weichem Eisen zusammen-

Fig. 146.



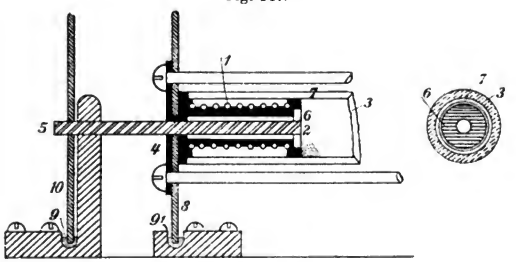
gehalten werden, welcher von dem Ringe 7, gleichfalls aus weichem Eisen bestehend, isoliert ist. Dieser letztere Ring bildet das eine Ende der Windungen der Elektromagnete, wogegen das andere Ende an die Scheibe 8 bezw. 8_1 anschließt. Es ist auf diese Weise der zur Aufnahme der Feilspäne dienende Zwischenraum durch die Enden der Elektromagnetwindungen bezw. den an diese anschließenden isolierten Endring gebildet. An dem Schafte 5 sind zwei Scheiben 10 und 10_1 befestigt. Die Vertiefungen 9, 9_1, 9_2, 9_3 sind mit Quecksilber gefüllt und werden hierdurch, wie dies aus der Zeichnung er-

Digitized by Google

sichtlich, die leitenden Verbindungen der Scheiben 8, 8_1, 10, 10_1 mit den Apparaten, dem Luftdrahte und der Erde hergestellt. Der Fritter wird, durch einen Elektromotor getrieben, in fortlaufender drehender Bewegung erhalten.

Durch diese Anordnung ist, da der Lokalstromkreis, solange eine Frittung nicht stattfindet, nicht geschlossen und dieser Kreis von dem Wellenkreise sohin getrennt ist, ein Uebergehen der Wellenströme in den Lokalkreis ausgeschlossen. Erst nach vollzogener Frittung wird auch der Lokalstromkreis geschlossen, und zwar von dem positiven Pole der Batterie b ausgehend über das Relais R, Quecksilber 9_2, Scheibe 8_1, die Windungen des rechtseitigen Elektromagneten, Scheibe 7, über das Frittpulver zu Scheibe 7 des linken Elektromagneten, die

Fig. 147.



Windungen desselben, Scheibe 8, Quecksilber 9_1 zum negativen Pole der Batterie zurück. Der Wellenstrom hingegen geht vom Luftdraht L über den Schaft 5 des linken Elektromagneten, die Feilspäne und den Schaft des rechtseitigen Elektromagneten zur Erde E. Dadurch, daß sich der Fritter in ständiger drehender Bewegung befindet, werden auch die Feilspäne mitgenommen, welche, wenn sie einen gewissen Punkt erreicht haben, abfallen, um wieder mitgenommen zu werden, so daß sie sich in ständiger Bewegung befinden. Hierdurch wird die Entfrittung herbeigeführt und stets aufrecht erhalten. Ein Teil der Feilspäne bleibt jedoch infolge der Berührung mit den Scheiben 7 von der Bewegung unberührt und wird dieser Teil der Füllung ungeachtet der Drehung bei Durchgang eines Wellenstromes von hohem Potential stets für die Frittung empfänglich.

Durch die selbsttätige Entfrittung ist auch der sonst bei Frittern bemerkte empfindliche Uebelstand des zu langsamen Arbeitens beseitigt.

Digitized by Google

Die Empfindlichkeit dieses Fritters ist so groß, daß bei Verwendung der gewöhnlichen Mischung, d. i. 90% Nickel- und 10% Silberspäne, die Frittung so kräftig wird, das eine Entfrittung durch die einfache Drehung nicht mehr erfolgt. Es werden daher für die Füllung gewöhnliche Eisenfeilspäne verwendet, denen 40% Messingspäne beigemengt sind. Der Zweck der Messingspäne ist, ein nicht magnetisierbares Metall einzuführen, das durch sein Gewicht die durch die Elektromagnete aufrecht erhaltene Kohäsion zerstört. Die Magnete unterstützen in diesem Falle die Frittung, sobald nur ein Teil der Feilspäne zum Fritten gelangt ist. Eine Hauptbedingung für ein gutes Wirken ist, daß genügend Feilspäne in den Zwischenraum eingefüllt werden, und hat sich hierbei erwiesen, daß es am besten ist, wenn der Zwischenraum zwischen den Elektroden bis zu $^1/_3$ mit dem Gemenge angefüllt wird.

Durch den Umschalter U kann nach Bedarf der Wecker W oder der Klopfer K in den vom Relais ausgehenden Stromkreis geschaltet werden. Der Wecker dient nur zum Anruf und wird der Umschalter sofort nach Ertönen des Weckers auf den Klopfer umgestellt, wodurch auch gleichzeitig der Motor eingeschaltet und in Wirkung gesetzt wird. An Stelle des Klopfers kann jeder beliebige andere Apparat, wie ein Morseschreiber oder auch ein Druckapparat, verwendet werden. Der Wellenanzeiger wird durch den batteriebetriebenen Motor M in Drehung versetzt.

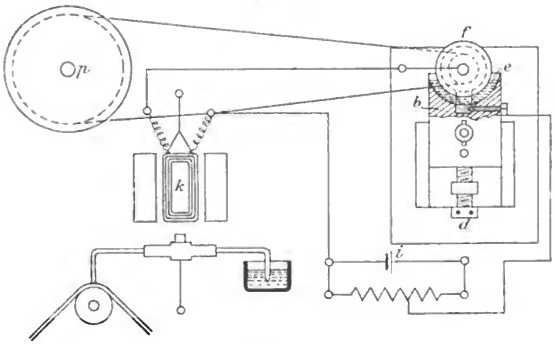
Die neue Form des Quecksilberfritters von Dr. Oliver Lodge und Muirhead[1]). In den F. d. T. S. 69, Fig. 57 und 58 wurde bereits eine Form des Quecksilberfritters beschrieben. Die neue Form des Fritters bietet wenig Abweichendes. Der Grundgedanke ist der, daß zur Verhütung unreiner Kontakte die leitenden Teile des Fritters durch eine häufiger zu erneuernde Schicht von Paraffin, Petroleum oder ähnlichen Isoliermitteln getrennt werden. Als Elektroden werden eine Quecksilbersäule auf der einen und ein Platinstift oder ein Metallrädchen auf der anderen Seite benutzt. Die zweite Elektrode darf nur sehr wenig in das Quecksilber eintauchen und nimmt dabei eine oberflächliche Oelschicht mit. Die Tauchung darf aus dem Grunde nur eine geringe sein, damit möglichst wenig Kapazität zwischen den beiden Leitern besteht, nachdem die zwischenliegende Oelhaut wie ein vollkommener Isolator wirkt. Je kleiner die Kapazität des Wellenanzeigers ist, desto empfindlicher wird er für die Wellen-

[1]) Western Electrician 1904, 9. Juli.

Digitized by Google

ströme sein, welche die Oelschicht durchschlagen und hierdurch die leitende Verbindung zwischen dem Quecksilber und dem Platinstift bezw. Metallrädchen herstellen und so auch den Stromkreis der den eigentlichen Empfangsapparat betätigenden Batterie schließen. Bei einer Spannung der Lokalbatterie unter 0,3 Volt ist die Oelhaut stark genug, um dem Durchgang des Stromes Widerstand zu leisten. Steigt jedoch die Spannung unter dem Einflusse der Wellenströme bis zu 1 Volt und darüber, so wird die Oelhaut durchbrochen, der Lokalstromkreis geschlossen und ein Zeichen niedergelegt. Zur Erneuerung der Oelschicht nach dem Durchschlagen genügt eine kleine Bewegung

Fig. 148.



des Metallstiftes durch Zurückziehen und neuerliches Eintauchen in das Quecksilber oder eine kleine Drehung des Metallrädchens.

In Fig. 148 wird das Rädchen f, welches die eine Elektrode des Wellenanzeigers bildet, durch das Uhrwerk p in dauernde Umdrehung versetzt. Dieses Rädchen taucht leicht in die Quecksilbersäule b ein, wobei die Tiefe der Tauchung durch die Schraube d reguliert wird, i ist die Lokalbatterie und v ein Potentiometer, durch welches die wirksame Spannung der Batterie auf 0,3 Volt eingestellt wird. e ist die auf dem Quecksilber liegende Oelschicht. Wird nun unter der Einwirkung einlangender elektrischer Wellen die Oelschicht durchbrochen, so schließt sich der Lokalkreis von i über b, f und das äußerst empfindliche Relais k, welches hierdurch zum Ansprechen gebracht wird, regt einen geeigneten Schreibapparat zum Niederlegen eines Zeichens an.

Digitized by Google

Der elektrolytische Wellenanzeiger der De Forest Wireless Telegraph Company[1]). D. James E. Ives berichtet über diesen Wellenanzeiger und über durchgeführte Untersuchungen, um die Ursache der Wirkungen festzustellen, in eingehender Weise und wird dessen Ausführungen nachstehendes entnommen.

Dieser Wellenanzeiger ist nichts anderes als eine elektrolytische Zelle, in welcher die Anode aus einem äußerst feinen Platindrahte, der nur sehr wenig in die elektrolytische Flüssigkeit eintaucht, und die Kathode aus einem dickeren Platindrahte besteht, welcher in größerer Entfernung von der Anode fast bis an den Boden des Gefäßes reicht.

Eine einfache Form einer solchen Zelle zeigt Fig. 149 und bedeutet hier s eine verstellbare Schraube, e die elektrolytische Lösung,

Fig. 149.

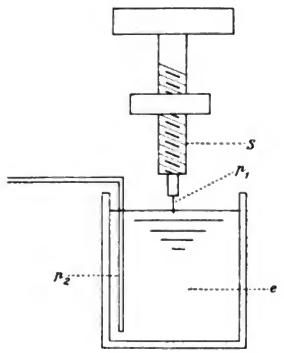
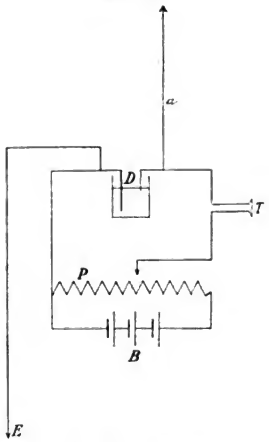


Fig. 150.



p_1 den feinen und p_2 den starken Platindraht. Eine wässerige Lösung irgend eines Salzes kann als elektrolytische Flüssigkeit verwendet werden, doch erhält man mit Salzen der Alkalien das beste Ergebnis.

Die Länge, bis zu welcher der feine Platindraht in die Flüssigkeit getaucht werden soll, hängt von dessen Durchmesser ab. Je größer der Durchmesser des Drahtes ist, desto geringer darf dessen

[1]) E. W., Bd. 44, S. 995.

Digitized by Google

Tauchtiefe sein. Die Drahtdicke und Eintauchtiefe des dünnen Drahtes bewegt sich in nahezu mikroskopischen Dimensionen und immer unter 0,01 mm.

Der Lokalstromkreis (Fig. 150) enthält den Wellenanzeiger D, ein Telephon T, ein Potentiometer P und eine Batterie B. Für den Empfang wird der Wellenanzeiger einesteils mit dem Luftleiter a, anderenteils mit der Erde E verbunden. Bei Einlangen eines Signales hört man im Telephon einen musikalischen Ton, dessen Höhe jenem des Funkens entspricht.

Um gegenüber den verschiedenen Erklärungen über die Wirkungsweise derartiger Wellenanzeiger sicherzustellen, welcher Ursache diese Wirkung zuzuschreiben ist, wurden im Laboratorium eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, welche darauf hinweisen, daß man es hier mit einer rein elektrolytischen Wirkung zu tun hat und stützt sich diese Anschauung auf folgende bei der Untersuchung festgestellte Tatsachen:

1. Der Wellenanzeiger ist nicht umkehrbar, d. h. wird der dünne Draht zur Kathode und der dicke Draht zur Anode gemacht, so spricht der Anzeiger auf elektrische Wellen nur sehr schwach an. Dies schließt schon die Annahme, daß nur Wärmewirkung im Spiele ist, aus, da in diesem Falle die erzeugte Wärme einzig von der Intensität der Wellenströme abhängig wäre.

2. Der feine Draht, welcher die Anode bildet, muß aus einem auf das Elektrolyt chemisch nicht wirkenden Metalle bestehen. An der Anode scheidet sich Sauerstoff aus. Verbindet sich nun dieser Sauerstoff mit dem Metalle der Anode, so wird der Wellenanzeiger unwirksam, wenn auch der Draht fein genug wäre, um anzusprechen, wenn er aus Platin bestünde. So sprechen dünne Fäden vom gleichen Durchmesser aus Platin, Kohle oder Aluminium an, wogegen sich Eisen als unwirksam erweist. Bei Aluminium erklärt sich dies wohl dadurch, daß sich auf dem Drahte eine feine Haut aus Aluminiumoxyd bildet, welche eine weitere Sauerstoffaufnahme ausschließt. Diese Tatsachen scheinen zu beweisen, daß ein Gasüberzug an der Oberfläche des feinen Drahtes notwendig ist, um das Ergebnis zu erreichen. Wenn man es mit einer Wärmewirkung zu tun hätte, würde eine geringe chemische Reaktion an der Oberfläche kaum einen bemerkbaren Einfluß ausüben.

3. Die Einrichtung in der gewöhnlichen Art angewendet, hat einen sehr großen anscheinenden Widerstand, viel zu groß, als daß es der reine Ohmsche Widerstand sein könnte. Der Wert dieses an-

Digitized by Google

scheinenden Widerstandes hängt auch von der Meßmethode ab und ist dann am geringsten, wenn die Zelle nicht der Polarisation ausgesetzt ist. Dieser anscheinende Widerstand hängt von dem Aufwande an elektromotorischer Kraft im Lokalstromkreise ab und steigt anscheinend an, wenn die lokale elektromotorische Kraft abnimmt. Sie kann von wenigen tausend Ohm mit einer lokalen elektromotorischen Kraft von 4 Volt bis zu mehreren Millionen Ohm für einen Bruchteil von einem Volt ansteigen.

4. Die Empfindlichkeit der Einrichtung für elektrische Wellen hängt, wie dies mit großer Genauigkeit durchgeführte Versuche erweisen, nur von dem Flächeninhalt der Oberfläche des die Anode bildenden Platins und nicht von dessen Form ab.

5. Aus dem Betragen des Anzeigers im elektrischen Felde zieht sich der Schluß, daß er nur auf Spannung und nicht auf Strom anspricht, wie es notwendig wäre, wenn dessen Wirkung auf Erwärmung beruhen würde. Es wurde auch gefunden, daß dieser Anzeiger ganz gut ohne Erdverbindung anspricht, was nicht wahrscheinlich wäre, wenn er durch den Strom zur Wirkung gebracht werden würde.

6. Es wurde ferner gefunden, daß dieser Wellenanzeiger auch dann noch anspricht, wenn die elektrolytische Flüssigkeit kocht. Dies könnte bei einer Wärmewirkung, wie solche Fessenden annimmt, nicht der Fall sein, denn wäre die Flüssigkeit nahe dem Siedepunkt, so müßte die an der Anode unter der Welleneinwirkung entwickelte Wärme die Flüssigkeit an deren Oberfläche zum Kochen bringen und so die Wirkung aufheben. Das anscheinende Abnehmen des Widerstandes des Anzeigers ist bei Empfang tatsächlich sehr groß und kann annähernd aus dem Wechsel der Stromstärke im Lokalkreise abgeschätzt werden. Dieser Widerstandswechsel hängt selbstverständlich von der Intensität der einlangenden Wellen und sohin auch von der Intensität der entsendeten Wellen und der Entfernung der Sendestelle ab. Unter gewöhnlichen Umständen fällt der Widerstand oft auf $^1/_3$ bis zu $^1/_2$ seines ursprünglichen Wertes ab. Wäre Erwärmung die Ursache der Wirkung, so würde ein solcher Wechsel des Widerstandes einen bedeutenden Betrag an Wärme an der Anode freigeben und so das die Wirkung aufhebende Kochen eintreten. Dies findet jedoch selbst bei heftigstem Kochen der Flüssigkeit nicht statt.

7. Hyperphosphorsäure, welche unter 60° C. einen negativen und über dieser Temperatur einen positiven Widerstandskoeffizienten hat, wurde als Elektrolyt verwendet und von 30° C. bis zum Siedepunkt nahe an 100° C. erhitzt. Es zeigte sich innerhalb dieser Tem-

Digitized by Google

peraturen weder eine Ab- noch eine Zunahme der Empfangsempfindlichkeit.

8. Werden glänzende Platinelektroden mit einem Ueberzug von Platinschwarz (Platinmoor) versehen, so findet keine Polarisation mehr statt. Auf dieser Erscheinung beruht die Messung des wirklichen Widerstandes eines Elektrolyten, um den zusätzlichen Widerstand, hervorgerufen durch die Polarisation, auszuscheiden. Ist demnach die Wirkung des in Rede stehenden Wellenanzeigers eine elektrolytische, und beruht sie auf der Polarisation der Anode, so muß dessen Ansprechen aufhören, sobald die Anode mit einem feinen Ueberzug von Platinmoor versehen wird, wogegen dieser Ueberzug, wenn die Wirkung auf Erhitzung beruht, kein Hindernis für das Ansprechen bilden kann. Um dies zu erweisen, wurde der feine Platindraht durch Einsetzen in eine Lösung von Platinchlorid und gleichzeitiges Durchleiten eines elektrischen Stromes mit einem äußerst feinen Ueberzug von Platinmoor versehen und sodann wieder in den Wellenanzeiger eingesetzt. War dieser Draht ganz mit Platinmoor bedeckt, so verschwand die Wirkung des Anzeigers gänzlich und ist dies wohl der schlagendste Beweis dafür, daß dessen Ansprechen nur auf elektrolytischen Erscheinungen beruht und von der Polarisation des äußerst feinen Drahtes, welcher die Anode der Zelle bildet, abhängt.

Der Wellenanzeiger von L. Heathcote Walter[1]). Dieser im Vereine mit Professor J. A. Ewing entworfene Wellenanzeiger, welcher gleichzeitig einen Rückschluß auf die eingelieferte Energie zuläßt, ist nichts anderes als ein Schwingungsgalvanometer. Das Instrument unterscheidet sich von den bisher bekannt gewesenen, auf Fritt- und elektrolytischer bezw. Wärmewirkungen beruhenden Wellenanzeigern dadurch, daß Schwingungen ihre Anwesenheit direkt und sichtbar durch eine deren Intensität proportionale Bewegung anzeigen. Die quantitativen Ablesungen können über einen praktisch unbegrenzten Bereich erhalten werden, ohne daß hierdurch eine Aenderung im Luftdrahte oder in anderen leitenden Massen, welche zum Auffangen der Wellen dienen, bedingt würde.

Entgegen der Ansicht von Prof. Fessenden, daß irgend eine direkte mechanische Bewegung durch elektrische Schwingungen infolge ihrer außerordentlich großen Frequenz nicht zu erhalten sei, hat sich hier gezeigt, daß eine solche dennoch stattfindet. Durch die Anwendung einer besonderen Energiequelle, wie eines drehenden Feldes, ist es in

[1]) Proceedings of the Royal Soc., Bd. 73, 1904.

Digitized by Google

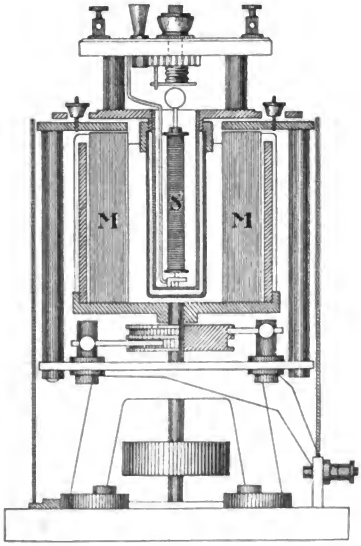
Verbindung mit der von Heathcote Walter gefundenen Tatsache, daß in einem magnetischen Draht, längs welchem solche Schwingungen verlaufen, die Hysteresis dann in sehr bedeutendem Maße ansteigt, wenn der Draht gleichzeitig der Einwirkung eines rotierenden Feldes ausgesetzt wird, gelungen, diese Schwierigkeiten zu überwinden und genau die gleiche Wirkung zu erzielen, als wenn die elektro-dynamischen Wirkungen der Schwingungen unmittelbar zur Anwendung gelangt wären. Das Instrument beruht auf dem Ansteigen der Hysteresis in einer Spule aus Stahldraht, welche sich in einem Drehfelde befindet, unter der Einwirkung elektrischer Schwingungen. Diese Schwingungen erzeugen einen schwingenden kreisförmigen Magnetismus, welcher sich der veränderlichen Längenmagnetisierung überlagert.

Das Instrument als solches ist also nichts anderes denn ein den besonderen Bedingungen entsprechend abgeänderter und angepaßter Hysteresismesser nach Ewing, bei welchem der die Probe bedeutende Teil festgehalten ist, wohingegen sich das magnetische Feld dreht, was durch Antrieb eines drehbaren Magneten mittels Elektromotor erfolgt. Die Spule S (Fig. 151), welche auf in Edelsteinlagern laufenden Zapfen lagert, wird durch eine Gegenfeder gehindert, dem Drehfelde zu folgen. Die Spule ist doppelt gewunden, um sie möglichst induktionslos zu halten, und besteht aus einer Anzahl von Windungen aus sehr feinem isolierten Stahldraht, wobei die Windungsebene möglichst rechtwinklig zur Achse der Spule steht. Die Spule selbst ist von Petroleum oder sonst einem dickflüssigen Mineral umgeben, um sowohl die erforderliche Dämpfung als auch einen stetigen Ausschlag zu erhalten und nebstbei die Isolierung zu verbessern. Das Instrument hat zwei verschiedenen Zwecken zu dienen, deren Anforderungen in gewisser Beziehung entgegengesetzt sind und denen bei der Ausführung Rechnung zu tragen ist. Für physikalische Messungen und Meßzwecke im allgemeinen ist das Instrument mit einem permanenten Magnetsystem versehen und erfolgt die Ablesung durch einen Lichtspalt an einer Skala, zu welchem Zwecke an der beweglichen Drahtspule ein Spiegelchen befestigt ist. Sobald sich das Magnetsystem M dreht, entsteht eine dauernde, der normalen Hysteresis entsprechende Ablenkung. Die Skala wird nun so eingestellt, daß der Lichtstrahl auf den Nullpunkt fällt. Sobald elektrische Schwingungen die Spule durchlaufen, wird sie in der gleichen der normalen Hysteresis entsprechenden Richtung, d. i. in der Richtung des Feldes, abgelenkt und kehrt sofort nach Verschwinden der Schwingungen wieder in die Ruhelage zurück.

Digitized by Google

Die Empfindlichkeit des Instrumentes kann durch passende Abmessungen der Spule und der Drahtwindungen innerhalb sehr weiter Grenzen abgeändert werden. So wird für Messungen nahe an einem Funkeninduktorium eine kleine Drahtspule mit wenig Windungen eines Drahtes von größerem Durchmesser und dementsprechend geringerem Widerstande genügen, wodurch sich auch eine bessere Isolierung er-

Fig. 151.



zielen läßt. Für andere Zwecke, bei welchen ein geringer Widerstand wünschenswert ist, die Empfindlichkeit aber eine sehr große sein soll, kann das Instrument mit einer Spule versehen werden, welche eine Primärspule aus Kupferdraht von geringem Widerstande hat, wobei diese primäre entweder direkt um die sekundäre gewunden oder außerhalb feststehend angeordnet ist. Bei diesen Anordnungen durchlaufen die Schwingungen die primäre und wirken induktiv auf die magnetische sekundäre. In diesem Falle muß die sekundäre induktiv gewunden und in sich selbst geschlossen sein. Ein mit einer Spule von der

Digitized by Google

größten Empfindlichkeit versehenes Instrument kann jedoch für diese Zwecke ebenfalls verwendet werden, wenn ein Nebenschlußkreis entsprechend angeordnet wird und hat dann das Instrument die mittlere Empfindlichkeit eines Fritters.

Als Empfänger für drahtlose Telegraphie sind die Anforderungen einigermaßen verschieden. Große Empfindlichkeit und unmittelbare Wirkung sind die unerläßlichen Bedingungen für diese Zwecke. Es kann auch ein empfindlicher Zeichenapparat mit der Spule in Verbindung gebracht werden und hat sich diesbezüglich ein mit der Spule verbundener Siphonrecorder bestens bewährt. Die hier auftretenden Schwingungen haben entsprechend den größeren Wellenlängen eine viel geringere Schwingungsperiode und bedingen für den Fall einer direkten Verbindung mit dem Luftdrahte, um die günstigsten Ergebnisse zu erhalten, die Anwendung einer bedeutenden Drahtlänge in der Spule. Bei Anwendung eines Transformators oder einer Nebenschlußverbindung sind die Bedingungen jedoch wesentlich verschieden.

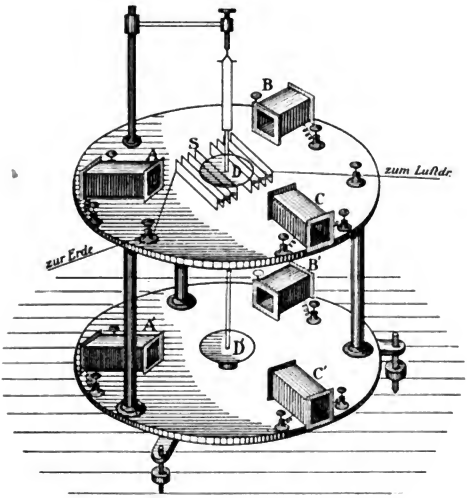
Der Wellenanzeiger von Professor Riccardo Arno[1]). Rutherford, Wilson, Marconi u. a. haben nachgewiesen, daß die Hysteresisschleife ihre Größe ändert, wenn das Material einem magnetischen Feld von sehr hoher Periodenzahl ausgesetzt wird. Ebenso war es bekannt, daß ein nach Ferraris Prinzip hergestelltes rotierendes Magnetfeld einen Eisenkörper selbst dann in Drehung versetzt, wenn dieser so fein unterteilt ist, daß die Wirbelströme nicht mehr in Betracht kommen können. Arno kam nun zur Annahme, daß die Hysteresis allein genügt, um die Drehung hervorzubringen. Um dies zu erweisen, stellte er einen außerordentlich fein unterteilten Eisenkörper in der Weise her, daß er Eisenpulver und Paraffin zu einer festen Paste vermengte und sodann diese Paste in Form einer Scheibe brachte. Diese Scheibe D wurde nun, wie dies Fig. 152 darstellt, bifilar in einem rotierenden Felde aufgehängt. A, B, C sind drei im Abstande von 120° angeordnete Elektromagnete, welche, wenn sie durch Drehstrom erregt werden, das Drehfeld erzeugen. Eine einesteils mit dem Wellenfänger, anderenteils mit der Erde verbundene Spule S umgibt diese Scheibe in einer Weise, daß sie sich innerhalb der Spule frei drehen kann. Es wächst nun, wie Arno nachzuweisen vermochte, das Drehmoment der Scheibe, wenn von dem Wellenfänger elektrische Wellen aufgefangen und über die Spule S zur Erde geleitet werden. Durch sorgfältiges Einstellen läßt sich daher das Ein-

[1]) Mitteilungen der Akademie der Wissenschaften in Rom, 1904.

Digitized by Google

treffen elektrischer Wellen mit dieser Einrichtung nachweisen, indem dann die bifilar aufgehängte Scheibe einen größeren Ausschlag gibt. Arno wendet nun, um den Apparat noch empfindlicher zu gestalten, zwei Scheiben aus fein unterteiltem Eisen und zwei im entgegengesetzten Sinne sich drehende Drehfelder an. Das zweite System liegt, wie aus der Zeichnung ersichtlich, unterhalb des bereits beschriebenen Systems und sind hier die Scheibe mit D^1 und die Feldmagnete mit

Fig. 152.

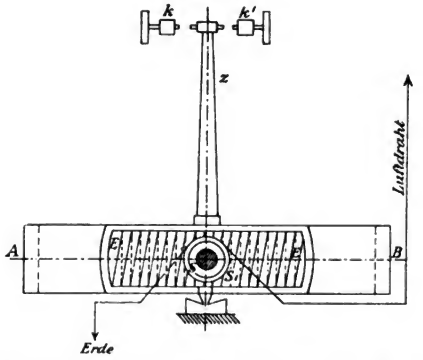


A^1B^1 und C^1 bezeichnet. Die beiden Drehsysteme sind nun gegenseitig so ausbalanciert, daß das bewegliche System in Ruhe bleibt, wenn die beiden Drehfelder erzeugt und von dem Wellenfänger keine Wellen durch die Spule S geleitet werden. Zum Zwecke der Ausbalancierung sind die Magnetspulen paarweise und zwar je eine obere und eine untere mit entgegengesetzter Windungsrichtung in die drei Leitungen eines Drehstromes von etwa 42 Perioden eingeschaltet. Dementsprechend entstehen zwei genau gleich starke und mit gleicher Geschwindigkeit, aber im entgegengesetzten Sinne sich drehende Felder.

Digitized by Google

Durch richtige Dimensionierung der Magnete läßt sich nun das Drehmoment, welches auf die obere Scheibe ausgeübt wird, genau gleich jenem machen, welches auf die untere Scheibe wirkt. Das bewegliche System bleibt sonach in Ruhe. Werden jedoch von dem Wellenfänger aufgefangene Wellen durch die Spule S geleitet, so überwiegt das Drehmoment des oberen das des unteren Magnetsystems und das bewegliche System gibt einen Ausschlag. Es sollen schon ganz schwache Impulse genügen, um einen entsprechenden Ausschlag hervorzubringen. Die beschriebene Wirkung ist an keine bestimmte Periodenzahl ge-

Fig. 153.



bunden. Arno hat nicht nur mit einer Frequenz von 42, sondern auch mit einer solchen von 12, 8, 6 und 4 Perioden in der Sekunde gearbeitet und in allen Fällen einen Ausschlag durch Einwirkung der elektrischen Wellen erhalten. Arno ist der Ansicht, daß die hier beschriebene Vorrichtung nicht nur als Wellenanzeiger, sondern auch als Meßinstrument für die Intensität der einlangenden Wellen verwendet werden kann.

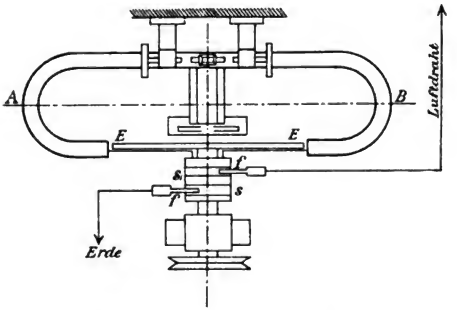
Der magnetische Wellenempfänger von Prof. W. Peukert[1]). Bei diesem Wellenanzeiger wird ebenso wie bei den magnetischen Wellenempfängern von Marconi[2]), Ewing und L. H. Walter, sowie von Riccardo Arno die von Rutherford festgestellte Erscheinung, daß sich die magnetische Hysteresis in einem

[1]) E. T. Z. 1904, S. 992.
[2]) S. d. F. T., I. S. 75.

Digitized by Google

periodisch wechselnden magnetischen Feld ändert, nutzbar gemacht. Während nun die vorgenannten Wellenanzeiger die Aufnahme der einlangenden Zeichen nur mittels Telephon oder durch die Beobachtung der Ablenkung eines dieser Einwirkung ausgesetzten magnetisierbaren Körpers gestatten, läßt sich durch diesen Wellenanzeiger ein Schreibapparat betätigen, so daß bleibende lesbare Zeichen erhalten werden. Die Einrichtung ist folgende: Ein Magnet A B (Fig. 153 u. 154) ist auf einer horizontalen, mit Schneiden versehenen Achse gelagert. In dem magnetischen Felde dieses Magneten ist ein mit einigen Drahtwindungen versehener Eisen- oder Stahlkörper E E drehbar angeordnet

Fig. 154.

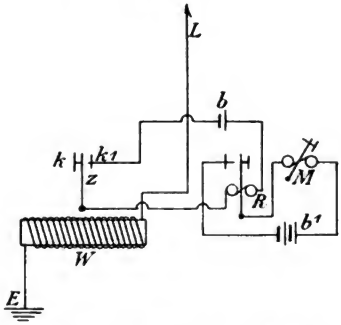


und sind die Enden der Drahtwindung an die isoliert auf der Drehachse des Eisenkörpers sitzenden und mit zwei Schleiffedern f f_1 in Berührung stehenden Schleifringen s s_1 angeschlossen. Der Eisenkörper wird mittels Schnurantrieb durch einen kleinen hier nicht gezeichneten Elektromotor in fortwährender drehender Bewegung erhalten. Bei dieser Drehung des Eisenkörpers mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit wird das Eisen einem magnetischen Kreisprozesse unterworfen, welcher eine bestimmte Magnetisierungsarbeit erfordert, deren Größe von der Beschaffenheit des Eisenkörpers und der Stärke des magnetischen Feldes abhängt. Diese Magnetisierungs- oder Hysteresisarbeit übt auf den Magneten ein Drehmoment aus und bedingt dessen Ablenkung im Sinne der Drehrichtung des Eisenkörpers. Die Größe der Ablenkung ist ein direktes Maß für die Größe der Hysteresis des Eisenkörpers, da die in dem Eisenkörper erzeugten Wirbelströme eine solche Wirkung nicht hervorrufen können. Ersetzt man zum Beweise

Digitized by Google

dessen den Eisenkörper durch ein gleich dimensioniertes Kupferblech, so behält der Magnet seine Nulllage bei. Ist die Umdrehungsgeschwindigkeit des Eisenkörpers ausreichend, so stellt sich der Magnet unter einem bestimmten Winkel zu seiner Gleichgewichtslage ein und behält diese Lage auch dann bei, wenn die Drehungsgeschwindigkeit des Eisenkörpers innerhalb gewisser Grenzen schwankt. Zur Erreichung einer möglichst gleichbleibenden Ablenkung des Magneten wird er mit einem Dämpfer versehen, welcher aus einem in Oel oder Glyzerin tauchenden Metallflügel besteht. Wird nun durch die Wicklung des sich drehenden Eisenkörpers ein Wechselstrom geleitet, so wird die Hysteresis des Eisens sofort geringer, das auf den Magneten ausgeübte

Fig. 155.



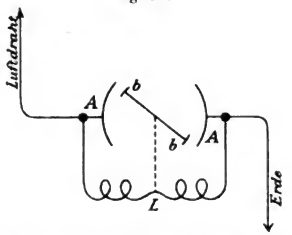
Drehmoment nimmt ab und der Magnet bewegt sich entgegen der Drehrichtung. Bei Unterbrechung des Wechselstromes kehrt der Magnet wieder in die vorherige Lage zurück. Diese Bewegung des Magneten wird nun zur Herstellung eines Kontaktes benützt und ist zu diesem Zwecke der Magnet mit einem Zeiger z verbunden, der zwei Kontaktstifte trägt, die sich an die Kontakte k und k_1 anlegen und so einen Ortsstromkreis schließen oder öffnen. Ein zuverlässiger Kontaktschluß wird dann erzielt, wenn mit dem Magnetzeiger ein Platinstift verbunden ist, der in einen Quecksilbertropfen taucht und dadurch Stromschluß herstellt.

Zum Zwecke der Anzeige von elektrischen Wellen wird die eine Schleiffeder mit dem Luftleiter, die andere mit der Erde verbunden. Die durch die einlangenden Wellen im Luftleiter induzierten oszillatorischen Ströme durchfließen die Windungen des Eisenkörpers, setzen

Digitized by Google

dessen Hysteresis herab und die bereits beschriebene Wirkung tritt ein. Bei der für diesen Zweck angewendeten Schaltung (Fig. 155) wird ein Relais R an den zu schließenden Kontakt geschaltet. Durchfließen nun Wellenströme den Eisenkörper, so legt sich die Zunge an den Kontakt k_1 an, schließt den Stromkreis des Relais, welches wieder in der bekannten Weise einen Schreibapparat m betätigt. Bei längerer Einwirkung der Wellen gibt der Schreibapparat einen Strich, bei kürzerer einen Punkt und gelangen sonach die telegraphischen Zeichen in der gewohnten Weise zum Ausdruck. Bei der gleichfalls anwendbaren Ruhestromschaltung wird durch die Bewegung des Magnetzeigers der Relaisstrom unterbrochen. Die Empfindlichkeit des Apparates läßt sich noch durch Parallelschaltung einer Kapazität zu den Windungen des Eisenkörpers erhöhen. Dem Fritter gegenüber besitzt der Apparat

Fig. 156.



den Vorzug, daß er keiner Entfrittung bedarf, sich zur Anzeige neuer Wellen von selbst einstellt und weniger zufälligen äußeren Beeinflussungen ausgesetzt ist. Der Apparat soll etwa den zehnten Teil jener Energie benötigen, welche zur Betätigung eines Fritters erforderlich ist.

Ein weiterer von dem Erfinder nicht angegebener Vorteil dieses neuen Wellenanzeigers dürfte noch der sein, daß sich bei dessen Anwendung, nachdem die Konstanten, Selbstinduktion und Kapazität stets gleichbleibend sind, eine viel schärfere Abstimmung erreichen läßt als mit dem Fritter, dessen Kapazität und Widerstand einem stetigen Wechsel unterliegen. Das hier Gesagte gilt selbstredend auch für alle auf den gleichen Grundlagen aufgebaute Wellenanzeiger.

Der neue Wellenanzeiger für drahtlose Telegraphie von N. Vasilesco Karpen[1]). Zwischen zwei vertikalen zylindrischen Armaturen A A (Fig. 156) befindet sich an einem Faden auf-

[1]) E. E., Bd. 38, Nr. 14.

Digitized by Google

gehängt eine Nadel mit zwei metallisch verbundenen zylindrischen Ansätzen b b. Die Armaturen A A sind durch einen, eine entsprechende Selbstinduktion enthaltenden dicken Draht L verbunden, der auf der einen Seite in Abzweigung mit dem Luftdrahte L und auf der anderen Seite mit der Erde E in Verbindung steht.

Sobald der Luftdraht durch einlangende elektrische Wellen erregt wird, entsteht zwischen den beiden Anschlußklemmen des Apparates eine wechselnde Potentialdifferenz, deren Periode der Periode der Wellen gleich ist. Unter dieser Bedingung dreht sich die Nadel um ihren Aufhängepunkt in der Weise, daß sie die Kapazität des ganzen Systems vergrößert. Hört die Welleneinwirkung auf, so kehrt die Nadel infolge der Torsion des Fadens wieder in die Ruhelage zurück.

Die Ablenkungen werden durch die Reflexion eines Lichtstrahles, der von einem an der Nadel befestigten Spiegelchen zurückgeworfen wird, bestimmt.

Der Empfang befindet sich dann unter den besten Bedingungen, wenn die Selbstinduktion und die Kapazität des Empfangssystems den Anforderungen der Resonanz entsprechen. In diesem Falle ist die Impedanz an den beiden Klemmen des Apparates am größten und ergibt hierdurch die anscheinend einen Widerspruch darstellende Tatsache, daß der den Apparat durchfließende Strom umso kleiner ist, je kleiner der Widerstand des Abzweigedrahtes wird. Als Grenzfall ergäbe sich sonach, daß, wenn die Resonanzbedingungen erfüllt sind und der Verbindungsdraht L einen Widerstand gleich Null hätte, den Apparat kein Strom durchfließen könnte. In diesem Falle würde der Luftdraht in einer halben Wellenlänge schwingen und die Anschlußklemme für den Luftdraht die maximale Spannung erhalten, weil sich dort ein Spannungsbauch ausbilden würde. Man nähert sich daher umsomehr dem Maximum der Empfänglichkeit, je geringer man den Widerstand von L nimmt und je vollkommener man dabei die Resonanzbedingungen erfüllt.

Es läßt sich hier die Ablenkung, welche ein oder mehrere Wellenzüge hervorrufen, von der durch einen fortlaufenden Wellenzug hervorgerufenen Ablenkung genau unterscheiden.

Im Gegensatze zu den Frittern und den elektromagnetischen Wellenanzeigern, welche nur für den ersten Wellenstoß empfindlich sind, speichert dieser Apparat die Wirkungen auf und ist somit gleichzeitig eine Vorrichtung, mittels welcher die übertragene Energie gemessen werden kann.

Die für die Versuche verwendete Nadel war aus sehr dünnem

Digitized by Google

Aluminium gefertigt und hatte bei einer Länge von 28 mm eine Höhe von 24 mm. Der Abstand zwischen der Nadel und der Armatur betrug 4 mm. Die Aufhängung erfolgte mittels eines Kokonfadens von 3 cm Länge.

Unter diesen Verhältnissen ergab eine Potentialdifferenz von 1 Volt zwischen den beiden Klemmen des Apparates eine Ablenkung von 15 mm auf der 2 m entfernten Skala.

Bei den Versuchen betrug die Entfernung des Apparates von der Sendestelle 10 m. Der Empfangsdraht hatte eine Länge von 2 m, der Funke eine Länge von 0,05 mm, die Länge der Welle war ungefähr 12 m und die Anzahl der in der Sekunde überspringenden Funken 80.

Die unter diesen Bedingungen erhaltene dauernde Ablenkung der Nadel betrug auf der Skala 80 mm. Man benötigte ungefähr 160 Funken (2 Sekunden), um eine Elongation von 10 mm zu erhalten. Diese verhältnismäßig lange Zeit kann jedoch durch Verringerung der Dämpfung, sowie der Trägheit des beweglichen Teiles der Einrichtung herabgemindert werden.

Bei der Konstruktion des Apparates ist die Anwendung von isolierenden Materialien, wie Ebonit oder Paraffin etc., welche sich zufällig elektrisieren und dadurch die Nadel ablenken können, zu vermeiden und erweist sich in diesem Falle trockenes Holz als ausreichend isolierend. Der Aufhängefaden soll, um einen bestimmten Nullpunkt des Apparates zu erhalten, aus Quarz bestehen.

Die Wellenanzeiger von C. Tissot[1]). Für die Anzeige einlangender Wellen hat Schiffsleutnant C. Tissot zwei Instrumente geschaffen, die ausreichend empfindlich sind, um die Intensität von außen einlangender elektrischer Wellen messen zu können.

Das eine dieser Instrumente, eine Art Bolometer, besteht im wesentlichen aus zwei Systemen feiner Platindrähte a b c d und $a^1 b^1 c^1 d^1$ (Fig. 157), welche absolut gleichartig und in die Zweige einer Wheatstoneschen Brücke M N P Q eingeschaltet sind. Das Gleichgewicht der Brücke wird mittels der beiden Drahtspulen $\rho\,\rho^1$, welche in einem gemeinsamen Petroleumbad untergebracht sind, und dem längs des Drahtfadens K K^1 gleitenden Kontaktes N hergestellt. Die beiden Drahtsysteme a b c d und $a^1 b^1 c^1 d^1$ haben gleichfalls Brückenform und sind vollkommen gleichartig in der Konstruktion. Der Luftdraht L ist an a, die Erde E an c angebunden. Diese Anordnung ist sonach in ihrer schematischen Darstellung identisch mit jener von Rubens.

---

[1]) E. E., Bd. 38, Nr. 10.

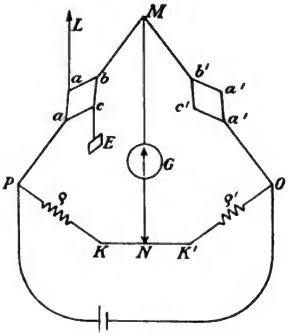
Digitized by Google

Der Apparat gestattet, die Wirkung der von mehreren Kilometer Entfernung einlangenden Wellen mittels eines empfindlichen Galvanometers G festzustellen, als welchen er sich eines der Thomsontype (Broca-Carpentier) bedient, dessen Widerstand genau gleich jenem der anderen Zweige der Brücke ist.

Die gemessene Quantität ist nachweisbar gleich $\int i^2 dt$ bezogen auf eine vollständige Periode, und stellt sonach in Summa die gesamte vom Luftdrahte aufgenommene Energie dar.

Für andere Zwecke, insbesondere für das Studium der Dämpfung verwendet Tissot eine Modifikation des Marconi-Rutherfordschen magnetischen Wellenanzeigers, bei welchem jedoch die Beobachtungen

Fig. 157.



mittels Galvanometers an Stelle des Telephones gemacht werden. Dieses äußerst empfindliche Instrument besteht im wesentlichen aus einem doppelten Wellenanzeiger, deren jeder aus einem permanenten Magnet c und c^1 (Fig. 158), einer primären Windung A und B aus Stahldrähten und einer sekundären Windung a und b besteht. Die beiden Magnete $c\,c^1$ sind an einer gemeinsamen Achse befestigt und werden von der Welle p aus in Umdrehung versetzt. Die beiden Windungen a und b sind durch Drähte so miteinander verbunden, daß sich ihre Wirkungen gegenseitig aufzuheben trachten, wodurch das empfindliche ballistische Galvanometer G, welches auch durch ein Elektrodynamometer der Bellatitype ersetzt werden kann, während der Drehung der Magnete in Ruhe verbleibt. Dieses Gleichgewicht wird jedoch durch eine einlangende Welle gestört, wenn die Win-

Digitized by Google

dungen B einerseits mit dem Luftdraht L und anderseits mit der Erde E verbunden sind. Die mit diesem Wellenanzeiger durchgeführten Versuche führten zu dem Schlusse, daß die zur Anzeige gebrachte Wirkung ebenso wie bei der Anordnung von Rutherford der maximalen Intensität des in dem Luftdrahte induzierten Stromes proportional ist.

Da diese beiden Instrumente ebensogut zur Anzeige elektrischer Wellen benutzt werden können, wurden sie hier eingereiht, wiewohl sie von dem Konstrukteur als Meßinstrumente gedacht sind.

Das Dynamometer für schnelle elektrische Schwingungen von N. Papalexi[1]). Bei diesem Dynamometer bildet der bewegliche Teil eine Nadel (Fig. 159), die aus zwei gekreuzten dünnen

Fig. 158.

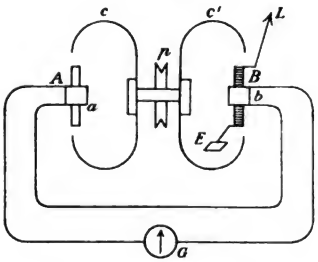
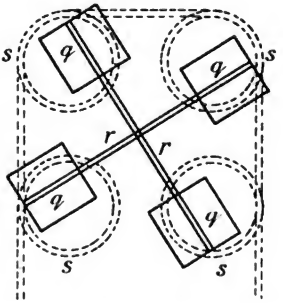


Fig. 159.



Holzstäbchen r r besteht, an deren Enden Quadrate q aus 0,1 mm dickem Aluminiumblech von 3 cm Seitenlänge so befestigt sind, daß sie in ein und derselben Ebene liegen. Durch die Achse der Nadel geht ein dünner Draht, der oben einen kleinen Spiegel und unten zur Dämpfung ein Rechteck aus Glimmer mit 3 und 3,5 mm Seitenlänge trägt. Das Ganze hängt an einem 32 cm langen Kokonfaden und schwebt frei zwischen je zwei horizontalen Systemen von je vier kleinen Spulen S. Die ersten vier Spulen befinden sich unmittelbar unter den Quadranten der Nadel, aber nicht konzentrisch, und sind unbeweglich. Das zweite System bildet das Spiegelbild des ersten in Bezug auf die Ebene der Quadrate und ist auf ein bewegliches Brett montiert, wodurch sich die Entfernung zwischen den beiden Spulensystemen und

[1]) A. d. Ph., Bd. 14, S. 756.

Digitized by Google

somit auch die Empfindlichkeit innerhalb bestimmter Grenzen abändern läßt. Die Spulen haben einen Durchmesser von 4,5 cm und bestehen aus zwei Windungen von 1,5 mm dickem isoliertem Draht. Die Spulen jedes Systems sind so miteinander verbunden, daß sich ihre Wirkung summiert. Die Unabhängigkeit der beiden Spulensysteme ermöglicht es, das Instrument als Differentialdynamometer zu verwenden. Die Ablesungen erfolgen mittels Fernrohr von einer Skala. Die Ausschläge sind dem Integral

$$\int_{\infty}^{0} i^2 \, dt$$

proportional, was durch vergleichende Versuche mit einem Bolometer nachgewiesen wurde. Die Apparate waren hierbei in einen Kondensatorkreis mit veränderlicher Selbstinduktion hintereinander geschaltet und dieser Kreis induktiv durch einen anderen Kondensatorkreis erregt, der durch einen Induktor mit Turbinenunterbrecher geladen wurde. Als Vorzug dieses Dynamometers dem Bolometer gegenüber wird die Unabhängigkeit von empfindlichen Hilfsapparaten (Galvanometern) angegeben.

Es ist beinahe selbstverständlich, daß ein derartiges Instrument passend ausgestaltet auch als Wellenanzeiger benutzt werden kann.

G. Neuerungen und Verbesserungen an den Einrichtungen für drahtlose Telegraphie.

Das System Telefunken der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie[1]). Ueber Einzelheiten dieses Systems wurde schon in Bd. V und VI dieser Sammlung berichtet. Wie bekannt, haben die beiden deutschen Gesellschaften für drahtlose Telegraphie „Dr. Ferd. Braun-Siemens & Halske“ und „Slaby-Arco-Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft“ sich fusioniert. Jede dieser beiden Gesellschaften brachte reiches wissenschaftliches und technisches Material mit, welches entsprechend verarbeitet und gesichtet nicht nur zu einer Art Einigung zwischen den beiden früheren Systemen führte, sondern auch zahlreiche Anhaltspunkte für die weitere Ausgestaltung und Verbesserung des so entstandenen Kompromißsystems gab. Es konnte sohin nicht fehlen, daß das so neu entstandene System „Telefunken“ auf eine die Gesamtheit und die kleinsten Einzelheiten umfassende Höhenstufe gebracht

[1]) E. T. Z. 1904, S. 523 und Broschüren der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.

Digitized by Google

wurde, welche es jedem der bestehenden Systeme überlegen oder zum mindesten gleichwertig erscheinen läßt. Es spricht hierfür die Tatsache, daß sich dieses System im allgemeinen Wettbewerbe trotz vielfach ungünstiger Verhältnisse einen ersten Platz eroberte, und nicht nur im eigenen Lande, sondern in vielen fremden Ländern, darunter auch in Nordamerika vielseitige Anwendung findet. Dieser Erfolg konnte auch bei einem Unternehmen, welches über einen Stab tüchtiger Ingenieure verfügt und sich der Unterstützung so hervorragender Gelehrten, wie der Herren Professoren Dr. Ferdinand Braun und Geheimrat Slaby erfreut, umsoweniger ausbleiben, als hier deutsche Gründlichkeit und Gewissenhaftigkeit verbunden mit großer Systematik zusammenwirkten, um ein vollkommenes Ganzes zu schaffen. Doch steht auch hier die Gesellschaft noch nicht am Endziele ihres Strebens, da es noch eine Reihe wichtiger Fragen gibt, deren endgültige Lösung noch aussteht.

Von einem neuen Systeme kann hier wie bei fast allen Systemen der drahtlosen Telegraphie nicht gesprochen werden, da alle auf den gleichen Grundlagen aufgebaut sind, nämlich dem ursprünglichen offenen Schwingungs- oder Strahlkreis von Marconi oder dem geschlossenen Schwingungskreise von Dr. Ferd. Braun mit induktiver Uebertragung der Energie auf den Strahlkreis oder Luftleiter.

Keines der bekannten Systeme vermag demgegenüber eine Abweichung aufzuweisen und beziehen sich die Aenderungen zumeist nur auf die Form und Ausgestaltung der Schwingungs- und Strahlkreise, die ja in Erkenntnis der maßgebenden Grundgesetze manche Verbesserung gegenüber dem ursprünglichen Strahlkreise von Marconi und dem geschlossenen, mit dem Strahlkreise induktiv gekoppelten Schwingungskreise darstellen mögen.

Auch die Empfangsanordnungen sind in Bezug auf die allgemeinen Grundlagen so ziemlich die gleichen, indem die in dem Luftleiter erregten Schwingungen entweder unmittelbar oder induktiv auf den den Wellenanzeiger enthaltenden Kreis übertragen werden. Mit Ausnahme der zur Wellenanzeige verwendeten Apparate, welche wohl wesentliche Verschiedenheiten aufweisen, sind alle anderen Anordnungen als nichts anderes denn mehr oder minder gelungene Kombinationen und Variationen anzusehen.

Das System Telefunken weist nun außer der grundlegenden Verwendung des gekoppelten Schwingungskreises sowohl für die Sendung als für den Empfang noch eine Reihe von Eigenheiten auf. Außer dem Bestreben, die Resonanz zur Steigerung der Wirkungen auszu-

Digitized by Google

nutzen, ist es gelungen, durch die Untersuchungen über die Dämpfungsverluste in den schwingenden Systemen, sowie die Einflüsse verschieden fester Kopplungen zwischen den einzelnen Schwingungskreisen eine Reihe von Verbesserungen einzuführen, welche die Reichweite der Stationen wesentlich vergrößern und auch die Störungsfreiheit gegenüber fremden Stationen oder gegenüber atmosphärischen Einflüssen besser sichern.

Die systematischen Untersuchungen mittels der verschiedenen Wellenmesser von Arco, Slaby und Dönitz (s. d. F. d. T. II, S. 37) ermöglichten es, Apparate und Konstruktionen in Anwendung zu bringen, bei welchen die elektrischen Größen der Schwingungskreise innerhalb sehr weiter Grenzen verändert werden können, ohne daß die Reichweiten selbst für die äußersten Fälle gegenüber der Reichweite der Grundschwingungen wesentlich zurückgehen.

Der Ausgestaltung der Luftleiter oder Wellenstrahler, welche in allen Fällen gleichzeitig als Wellenfänger mitbenutzt werden, wurde gleichfalls die größte Aufmerksamkeit gewidmet, und ist es, sowohl durch umfangreiche Sonderversuche als auch durch die Erfahrungen geleitet, die an ausgeführten Einrichtungen gesammelt wurden, nunmehr möglich, die für jeden Einzelfall günstigsten Anordnungen treffen zu können.

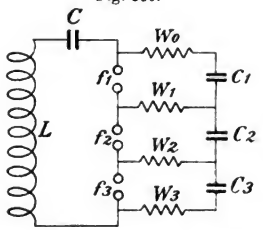
Einfache Sender, das sind solche, bei welchen wie bei der ursprünglichen Marconieinrichtung nur ein Schwingungssystem zur Anwendung kommt, können nun für gewisse Fälle vorteilhafte Anwendung finden. Diese Sender ließen aber bisher die Aufwendung größerer Energiemengen aus dem Grunde nicht zu, weil bei der geringen Kapazität der Drahtgebilde eine Energievermehrung nur durch die Erhöhung der Spannung möglich gewesen wäre. Bei einer solchen tritt aber statt der oszillatorischen Funkenentladung eine Lichtbogenbildung ein. Dieser Uebelstand ist nun durch die Verwendung von Resonanzinduktoren zur Ladung gänzlich beseitigt. Diese Induktoren werden mit Wechselstrom gespeist, der auf die sekundäre Eigenschwingung des mit der Luftdrahtkapazität belasteten Induktors abgestimmt ist. Ueber die theoretischen Grundlagen, auf welchen diese Resonanzinduktoren aufgebaut sind, ist bereits auf S. 30 das Erforderliche gebracht. Zu erwähnen hierbei ist noch, daß sowohl Dr. Seibt als die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie gegenseitig unabhängig und selbständig auf diese verbesserten Induktorformen gekommen zu sein scheinen. Die durch die Einführung dieser Induktoren erzielten Vorteile ergeben sich sofort daraus, daß die Funkenlänge bei einem 60 m

Digitized by Google

langen Luftdraht wegen Eintritt der Lichtbogenbildung früher nicht über 5 cm gesteigert werden konnte, während dermalen die Funkenlänge sich bei einem gleich langen Drahte bis zu 30 cm steigern läßt. Die Grenze der benutzbaren maximalen Funkenlänge ist dermalen nur durch die Schwierigkeit gegeben, den Luftdraht für solche Spannungen genügend zu isolieren.

Die Möglichkeit, auch einem einfachen Drahte große Energiemengen zuzuführen, ist zwar hierdurch gegeben, allein die Versuche zeigten, daß die Fernwirkung nicht im Verhältnisse mit der Vergrößerung der Ladeenergie ansteigt. Die Dämpfung in der Funken-

Fig. 160.



strecke zeitigt große Energieverluste, die natürlich die Wirkungen beeinträchtigen.

Prof. Ferdinand Braun ist es nun gelungen, durch die bereits beschriebenen Anordnungen zur Vergrößerung der Senderenergie (S. 50) auch diesen Nachteil zu beseitigen und gelangen die vorgeführten Schaltungen mit unterteilter Funkenstrecke und Anwendung kleiner Kapazitäten in Parallelschaltung als Spannungsteiler nunmehr fast ausschließlich für das System „Telefunken" zur Anwendung. Die Fig. 160 zeigt eine weitere Form der bereits unter „Energieschaltung" vorgeführten unterteilten Funkenstrecken, bei welcher die kleinen Hilfskondensatoren c_1, c_2, c_3 über hohe ohmische Widerstände oder Selbstinduktionsspulen w_0, w_1, w_2, w_3 mit den Funkenstrecken verbunden werden. Diese Widerstände oder Selbstinduktionen lassen die langsamen Ladeschwingungen ohne nennenswerte Verluste durch, verhindern aber, daß diese Kondensatoren die Periode der schnellen Entladeschwingungen des Hauptkreises beeinflussen. Die auf Grund der Braunschen bezw. Rendahlschen Schaltung ausgeführten Funkenstrecken ermöglichten es nun, einen einfachen Sender herzustellen, bei welchem die Fernwirkung proportional der Funkenlänge bezw. Funken-

Digitized by Google

zahl ansteigt. Dieser Sender arbeitet mit einem sehr hohen Wirkungsgrade, was wohl daraus hervorgeht, daß es mit einem Aufwande von 90 Watt, der primären Spule des Induktors zugeführt, bei Verwendung eines Luftdrahtes von 32 m Höhe gelungen ist, eine Entfernung von 250 km gut zu überbrücken.

Wiewohl nun die auf Grund der sog. Energieschaltung geschaffenen einfachen Sender sich bestens bewähren, so ist im allgemeinen den gekoppelten Sendern doch der Vorzug zu geben, da bei diesen bei gegebenem Luftdrahte die ausgesendete Wellenlänge ohne

Fig. 161.

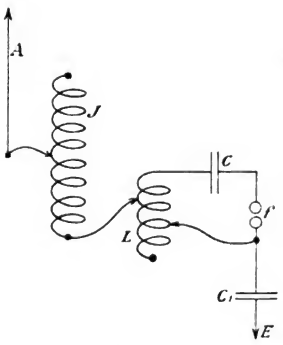
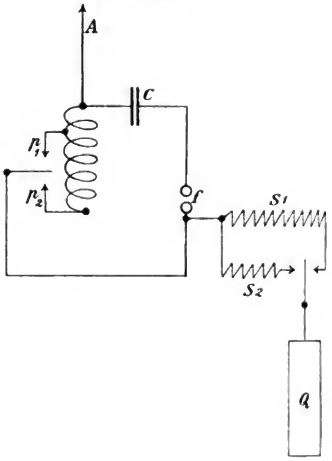


Fig. 162.



Intensitätsschwankung innerhalb sehr weiter Grenzen bis zu mehreren 100 % verändert werden kann. Auch für die gekoppelten Sender wird die Braunsche Energieschaltung nutzbringend verwertet und dementsprechend auch die Senderenergie erhöht.

In den Fig. 161 u. 162 sind zwei Formen von gekoppelten Geberschaltungen, wie solche am häufigsten angewendet werden, dargestellt. Die Schaltung Fig. 161 eignet sich wegen ihrer Einfachheit, der leichten Abänderungsmöglichkeit der Wellenlängen und der geringen Spannungsamplitude des Luftleiters am besten für Schiffszwecke. Der geschlossene Schwingungskreis enthält die unterteilte Funkenstrecke f, die gleichbleibende Erregerkapazität C und die veränderliche Selbst-

Digitized by Google

induktion L. An dem einen Ende der Induktionsspule J liegt über L dauernd die Erdverbindung, während an dessen anderes Ende der Luftleiter A mit jedem gewünschten Kopplungsgrade angelegt werden kann. Die Wellenlänge des Luftleiters läßt sich durch die veränderliche Selbstinduktion J und den Kondensator C^1 innerhalb bestimmter Grenzen verändern. Hier findet eine Erdung statt, weil bei Schiffen stets eine gute gleichmäßige Erdung erreicht werden kann. Bei allen anderen Einrichtungen wird statt der Erdung eine elektrische Ausbalancierung benutzt, weil bei Landstationen, insbesondere bei beweglichen, selten eine gute Erde mit geringem gleichbleibenden Widerstande gefunden werden kann. Hierdurch werden auch für den Empfänger atmosphärische Störungen, welche bei der großen Höhe der Luftdrähte sonst unvermeidlich sind, beinahe ganz ausgeschlossen.

Die zweite Schaltung (Fig. 162) für fahrbare Stationen mit einfachem 200 m langem Luftleiter, welcher durch Ballon oder Drachen aufrecht erhalten wird, gestattet keine Einstellung für stetig veränderliche Wellenlängen. Es kommen hier nur zwei bestimmte Wellenlängen zur Anwendung. Bei der einen Wellenlänge wird die Grundschwingung, bei der anderen die erste Oberschwingung des Drahtes erregt.

Der Erregerkreis besteht aus der unveränderlichen Kapazität C, welcher die Hochspannungsenergie zugeführt wird, der unterteilten Funkenstrecke f und der Induktionsspule L. Diese Induktionsspule ist für die Erregung der kurzen Welle nur zum kurzen Teile durch Verbindung mit p_1 und für die Erregung der langen Welle durch Verbindung mit p_2 ganz eingeschaltet. An diesen Erregerkreis sind einerseits der Luftleiter A, anderseits die Spulen S_1 und S_2 angeschlossen. Die Selbstinduktion einer dieser Spulen in Verbindung mit der Kapazität der Drahtgaze Q bewirkt die elektrische Ausbalancierung des Luftdrahtes. Die Spulen S_1 und S_2 sind der Kapazität der Drahtgaze und der Länge der auszusendenden Wellen entsprechend bemessen und dient S_1 zur Ausbalancierung bei Grundton und S_2 bei Oberton. Für die Erregung der langen Welle beträgt die Kopplung mit dem Erregerkreise 15 % und für die Erregung der kürzeren Welle oder des Obertones nur 10 %.

Die Verwendung von Kondensatoren sehr kleiner Kapazität für die unterteilten Funkenstrecken führte zur Ausarbeitung einer Methode, um kleine Kapazitäten mit großer Genauigkeit messen zu können. Zu diesem Behufe wurde die Wechselstrombrücke (Fig. 163) geschaffen. Diese Meßbrücke unterscheidet sich von einer gewöhnlichen Meßbrücke dadurch, daß in zwei benachbarten Zweigen, wie ca und cb, nicht

Digitized by Google

wie sonst üblich der Vergleichskondensator und der zu messende Kondensator, sondern die Primärwindungen zweier Transformatoren eingeschaltet werden, die in dem gezeichneten Falle vollständig gleichartig sein sollen. Sind die Sekundärspulen dieser beiden Transformatoren offen, so verschwindet im Fernhörer T wegen der Gleichheit des Ohmschen Widerstandes und der Selbstinduktion der beiden Primärspulen jeder Ton, wenn auch die Meßbrücke durch von dem Induktor J übertragene Wechselströme durchflossen wird. Für jeden Fall erreicht der Ton das Minimum, wobei es eben Bedingung ist, daß d auf die Mitte von ab eingestellt wird. Sobald jedoch die Sekundärwindung der beiden Transformatoren einerseits über den zu messenden Konden-

Fig. 163.

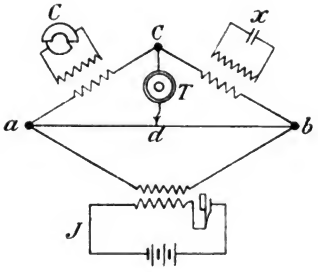
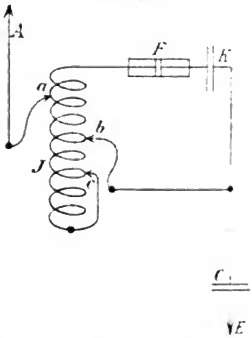


Fig. 164.



sator x, anderseits über den einstellbaren Vergleichskondensator C geschlossen werden, so wird im allgemeinen ein neuer und zwar höherer Ton im Fernsprecher vernehmbar werden. Sind nun die sekundären Wicklungen der beiden Transformatoren in elektrischer Beziehung vollkommen gleichwertig, so verschwindet der Ton sofort, wenn $x = C$ wird.

Es ist jedoch zur Messung sehr kleiner Kapazitäten vorteilhaft, die sekundären Windungen der Transformatoren nicht gleich zu machen, sondern verschiedene Uebersetzungsverhältnisse anzuwenden. Ist beispielsweise die sekundäre Selbstinduktion des rechten Transformators zehnmal so groß als jene des linken Transformators, so verschwindet der Ton erst, wenn die Kapazität $C = 10x$ wird. Hierdurch erhöht sich die Genauigkeit der Messung und lassen sich Kapazitäten bis 100 cm herab mit hinreichender Schärfe bestimmen. Es ist bei dieser Art der

Digitized by Google

Messung nur nötig, den einstellbaren Vergleichskondensator entsprechend zu verändern, ohne den Brückenschieber zu verstellen. Ist es für bestimmte Meßzwecke erwünscht, das Uebersetzungsverhältnis zwischen der primären und sekundären Wicklung des Transformators auf Seite des Vergleichskondensators wie 1 : 1 zu wählen, so kann in diesem Falle der Vergleichskondensator direkt parallel zur Primärwicklung oder auch an deren Stelle in den Brückenzweig eingeschaltet werden.

Die Empfangseinrichtungen haben in ihrem Verlaufe auch eine Reihe von Verbesserungen aufzuweisen und sind je nach dem besonderen Zwecke, welchem sie zu dienen haben, verschieden. Einfache Empfangsschaltungen, ähnlich wie bei den einfachen Sendern, können nur für solche Wellenanzeiger in Betracht kommen, welche in elektrischer Beziehung entweder einen Kondensator beträchtlicher Kapazität oder einen Ohmschen Widerstand darstellen.

Da jedoch der gewöhnliche Körnerfritter noch am meisten zur Anwendung gelangt, dieser aber einen sehr kleinen Kapazitätswert hat, lassen sich nur gekoppelte Empfangsschaltungen mit Vorteil verwenden. Die Schaltungsweisen sind nun so gewählt, daß mit jeder annähernd die gleiche maximale Empfangsintensität erzielbar wird. Die Unterschiede in der Schaltung hängen nur davon ab, ob der Empfänger auf scharfe Abstimmung arbeiten soll oder nicht.

Die Schaltung für unscharfe Abstimmung eignet sich für solche Stationen, welche mit anderen auf nicht gleiche Wellenlänge abgestimmten Stationen ohne jedesmalige vorherige Einregulierung in Verbindung treten sollen, wie dies bei Schiffen in der Regel der Fall ist. Scharfe Abstimmung ist hingegen für militärische Stationen von großer Wichtigkeit, da hierdurch feindliche Störungen selbst bei kleiner Wellendifferenz oder stark überwiegender Intensität großenteils ausgeschlossen werden können. Die Abstimmungsschärfe einer Empfangsschaltung ist hauptsächlich von dem Kopplungsgrad zwischen Luftleiter und dem den Fritter enthaltendem Schwingungskreise gegeben. Je fester hier die Kopplung, desto unschärfer die Abstimmung. Die zu diesem Zwecke dienliche Schaltung stellt Fig. 164 dar. F ist hier der Fritter, K ein im Empfangsapparat liegender Kondensator von gleichbleibender Kapazität, J eine Induktionsspule mit drei veränderlichen Kontakten a, b und c, A der Luftleiter und C ein veränderlicher Kondensator, über welchen das Leitungsstück b c geerdet wird. Die Kapazität K ist im Verhältnis zur Kapazität des Fritters unendlich groß und fällt daher bei Bestimmung der Schwingungszahl des

Digitized by Google

Systemes ganz heraus. Die Abstimmung des Fritterkreises erfolgt durch Veränderung des Schieberkontaktes b. Mittels des Schieberkontaktes c werden die nicht benötigten Windungen von J kurzgeschlossen und so am Mitschwingen verhindert. Die Abstimmung des Luftdrahtes kann sowohl durch die Veränderung der Windungszahl zwizchen a und b als auch durch Veränderung der Kapazität des Kondensators C erfolgen. Je größer für eine gegebene Wellenlänge die Windungszahl a, b und je kleiner dementsprechend C ist, desto fester wird die Kopplung und desto unschärfer auch die Abstimmung.

Für die Erzielung sehr scharfer Abstimmung könnte nach dieser Schaltung a, b sehr klein gemacht und der Kondensator C kurzgeschlossen werden. Es wäre dann, um den notwendigen Betrag an Selbstinduktion zu erhalten, eine getrennte Spule in den Luftleiter einzuschalten. Es ist jedoch in diesem Falle, da die Erde meist einen merklichen Betrag an Selbstinduktion aufweist, die Gefahr vorhanden, daß durch die unmittelbar leitende Verbindung mit der Erde die induktive, in nicht gleicher Phase erregte Schwingung gestört wird. Es hat sich sonach empfohlen, für scharfe Abstimmung als lose Kopplung die rein induktive Schaltungsweise anzuwenden.

Erst nach mehr als 1½ jährigen Bemühungen ist es gelungen, alle Eigenarten und Einzelheiten der Schaltungsweise so zu erkennen und diese so zu gestalten, daß bei scharfer Abstimmung auch die gleiche Empfangsempfindlichkeit erreicht wird, wie solche bei der früheren festen Kopplung erhalten wurde. Durch die neue Schaltungsweise mit loser Empfangskopplung soll bei ungeschwächter Empfangsempfindlichkeit eine um annähernd 1 % veränderliche Abstimmungsschärfe des Empfanges erreicht worden sein, bei welchen Störungen durch einen feindlichen Sender, gleiche Sendeintensität vorausgesetzt, bei nur 4 % Unterschied in der Wellenlänge gänzlich ausgeschlossen sind.

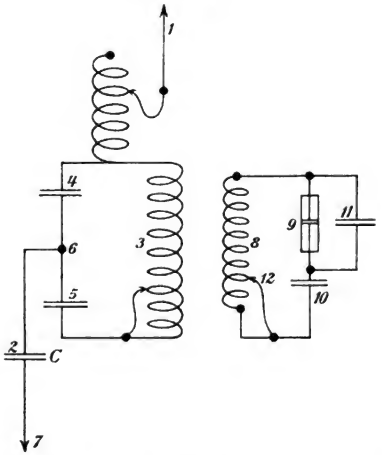
Dieses gute Ergebnis wurde einesteils durch die Benutzung wenig gedämpfter Sender, bezw. durch die Verringerung der Funkendämpfung mittels der sog. Energieschaltung, sowie durch die Verringerung der Dämpfung in den Empfangsschaltungen erreicht. Die sekundäre Spule des Empfängers hat hierbei einen passenden Ohmschen Widerstand und wird aus Litzendraht hergestellt, um Wirbelstromverluste auszuschließen. Die Abstimmung des primären und sekundären Empfangskreises auf die Schwingungszahl oder Wellenlänge, welche von dem gekoppelten Sender tatsächlich zur Ausstrahlung gelangt, ist selbstredend hier ebenfalls Bedingung.

In einer dieser Empfangsschaltungen (Fig. 165) stellt 1 den Luft-

Digitized by Google

leiter und 2 einen veränderlichen Kondensator vor, mittels welchem der Luftleiter gegen Erde abgestimmt wird. Der in sich geschlossene primäre Empfangskreis wird durch richtige Wahl der Größen der Kondensatoren 4 und 5 mit dem Luftleiter gekoppelt, wobei die resultierende Kapazität von 4 und 5 bei verschiedenen Kopplungsgraden unverändert bleibt. Der sekundäre Empfangskreis ist mit dem primären rein induktiv und lose durch einen ziemlich großen Luftabstand gekoppelt und hierdurch eine Verzerrung der primären Welle aus-

Fig. 165.

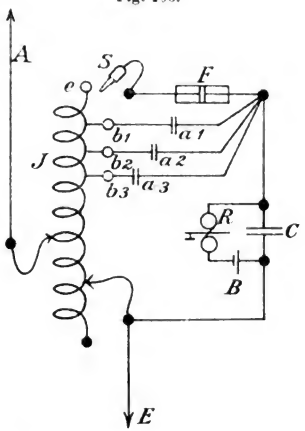


geschlossen. Die sekundäre Transformatorenwicklung ist bezüglich ihrer Windungszahl durch einen Schleifkontakt 12 veränderlich und mit ihren beiden Enden einerseits an den Fritter 9, anderseits an die Kapazität 10 angeschlossen. Die Kapazität dieses Empfangskondensators ist im Verhältnisse zur Fritterkapazität sehr groß. Die Veränderlichkeit dieses sekundären, den Fritter als Kapazität enthaltenden Stromkreises ist durch die Parallelschaltung des Kondensators 11 von passender Kapazität beseitigt. Die Erde 6, 7 läßt sich ebensogut durch ein isoliertes begrenztes elektrisches Gegengewicht ersetzen. Die Einwirkung atmosphärischer Störungen ist, wie sich dies von selbst ergibt, durch die lose Empfangskopplung gegenüber der festen Kopplung wesentlich herabgemindert.

Digitized by Google

Im praktischen Verkehr zwischen Stationen für drahtlose Telegraphie, deren Entfernung sich in weiten Grenzen ändert, würde die Wirkung des Fritters bei zu geringen Entfernungen durch die zu starke Intensität der einlangenden Wellen beeinträchtigt werden. Um dies zu vermeiden und eine stets gleichbleibende Empfangsintensität zu erreichen, war es bisher notwendig, entweder die Schwingungen des Empfangskreises durch Einschaltung Ohmscher Widerstände entsprechend zu dämpfen, oder aber den Empfangsleiter durch Aenderung der elektrischen Ausmaße den Geberschwingungen gegenüber zu ver-

Fig. 166.



stimmen. Diesen Methoden haftet aber der Uebelstand an, daß die hierdurch verstimmte Empfangsstation empfindlicher gegen Störungen durch von anderen Sendern ausgestrahlte Wellen verschiedener Länge wird. Diese Schwächung der Intensität der einlangenden Wellen wird nun in neuerer Zeit unter vollkommener Aufrechterhaltung der Abstimmung dadurch erreicht, daß zu dem Körnerfritter eine geeignete Kapazität parallel geschaltet und gleichzeitig die Selbstinduktion des sekundären Empfangskreises geändert wird, so daß die Abstimmung stets die gleiche bleibt.

Fig. 166 stellt diese Anordnung dar; A bedeutet den Luftdraht, J eine Transformatorenspule mit nur einer fortlaufenden Wicklung, E die Erde, F den Fritter, a_1, a_2, a_3 Kondensatoren verschiedener

Digitized by Google

Kapazität, C den Empfangskondensator mit einer gegenüber der Fritterkapazität sehr großen Kapazität, B die Ortsbatterie und R das Empfangsrelais. Das eine Ende der Kondensatoren a_1, a_2, a_3 kann stets an dem Empfangskreise angeschlossen bleiben. Der zweite Pol dieser Kondensatoren ist an die Klemmen b_1, b_2, b_3 geführt, die wieder mit verschiedenen Windungen der Selbstinduktionsspule J in Verbindung stehen. Bei normalem Betriebe wird der eine Pol des Fritters mittels des Stöpsels s bei e an das oberste Ende der Selbstinduktionsspule J angeschlossen. Um die Empfindlichkeit des Empfangssystemes zu schwächen, wird die Verbindung bei e gelöst und der Stöpsel s in eine der Klemmen b_1, b_2, b_3 eingesteckt.

Hierdurch wird nun eine bestimmte Kapazität parallel zum Fritter geschaltet und gleichzeitig die Selbstinduktion des Empfangskreises um einen bestimmten Betrag verringert. Die beiden Größen sind nun so bemessen, daß das Produkt aus Selbstinduktion und Kapazität oder die Abstimmung des Empfangskreises stets das gleiche bleibt.

Statt einer stufenweisen Aenderung kann auch eine allmähliche eingeführt werden und zwar durch eine Vorrichtung, mit welcher sich bei Bewegung die Kapazität und Selbstinduktion im umgekehrten Verhältnisse ändern.

Die Abstimmung der Empfangseinrichtungen bietet insofern große Schwierigkeiten, als es bei den verwickelten Erscheinungen unmöglich ist, die Abmessungen der einzelnen Teile, welche hierfür in Betracht kommen, im Vornhinein rechnerisch festzustellen. Man ist hier fast immer mehr auf die Erprobung, den Versuch angewiesen. Eine für diese Feststellungen bekannte Methode besteht darin, daß, wenn in der Empfangsstelle ein Körnerfritter für die Wellenanzeige benutzt werden soll, dieser zur Feststellung der Abstimmungswerte durch einen Kondensator gleicher Kapazität ersetzt wird. Es werden nun auf nahe Entfernungen elektrische Schwingungen von gleicher Schwingungszahl wie die des fernen Gebers erregt, welche eine solche Intensität haben, daß sich an einer zu dem erwähnten Kondensator parallel gelegten Funkenstrecke Funkenmessungen zur Bestimmung der Spannung ausführen lassen. Diese Methode hat aber den Nachteil, daß es zwar möglich ist, die von dem Hilfssender ausgestrahlten Wellen denjenigen des eigentlichen Senders an Länge gleich zu machen, nicht aber auch die Dämpfung dieses Hilfssenders mit der des eigentlichen Senders in Uebereinstimmung zu bringen. Auf der anderen Seite ist es aber, will man den eigentlichen Sender für die

Digitized by Google

Abstimmung heranziehen, in der Regel nicht möglich, den Empfänger an den Sender nahe genug heranzubringen, um quantitative Funkenmessungen durchführen zu können.

Dieser Uebelstand ist nun dadurch beseitigt worden, daß für die Abstimmung ein elektrolytischer Wellenanzeiger an Stelle des Fritters benutzt wird, bei welchem der Strom eines Ortskreises proportional mit der aufgenommenen Energie zunimmt. Damit die erhaltenen Abstimmungswerte auch für den später als Wellenanzeiger zu verwendenden Fritter Gültigkeit haben, muß der benutzte elektrolytische Wellenanzeiger in den Empfangskreis die gleichen elektrischen Werte hineinbringen, wie sie der zu benutzende Fritter besitzt.

Um die Abmessungen der Empfangstransformatoren mit Hilfe

Fig. 167.

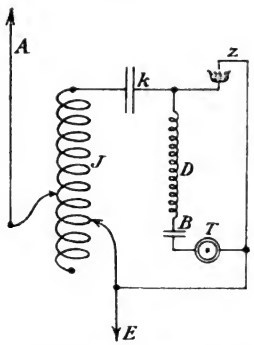
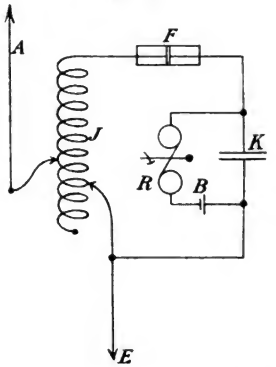


Fig. 168.



des elektrolytischen Wellenanzeigers von Schloehmilch (s. d. F. d. T. II, S. 76), denn dieser gelangt hierfür zur Verwendung, festzustellen, wird die Anordnung Fig. 167 benutzt. J bedeutet die Transformatorenspule, A den Luftdraht, E die Erde, Z die elektrolytische Zelle, K einen mit ihr in Reihe geschalteten Kondensator, D eine Drosselspule, B die Ortsbatterie und F einen Fernhörer oder ein empfindliches Galvanometer zum Messen der Wirkungen. Hat nun der später für den wirklichen Betrieb zu verwendende Fritter eine Kapazität von 50 cm, so ist der Wert von K so zu wählen, das K mit der Zelle Z in Serie geschaltet eine resultierende Kapazität gleich 50 cm ergibt. Wird nun der Luftdraht A durch einlangende Wellen

Digitized by Google

der bestimmten Länge erregt, so läßt sich die durch Verschieben der beiden längs der Transformatorspule schleifenden Kontakte erzielte Abstimmung, an dem Fernhörer abhören, bezw. an dem Galvanometer ablesen. Die Drosselspule D verhindert, daß die Leitungen des Lokalkreises eine die Messung störende Zusatzkapazität in das Schwingungssystem hineinbringen können.

Mittels dieser Einrichtung lassen sich in einfacher und schneller Weise die Abstimmungswerte einer Empfangsstation auf die gleiche Entfernung vom Geber vorher ermitteln, auf welche die Empfangsstation mit Verwendung des Fritters tatsächlich arbeiten soll. Diese Methode ist für jede beliebige Empfängeranordnung verwendbar.

Die Empfangsschaltung der gleichen Station nach Ersatz der elektrolytischen Zelle durch einen Fritter zeigt Fig. 168 und bedeutet hier ebenfalls A den Luftdraht, J die Transformatorspule, F den Fritter, K einen Kondensator von einer gegenüber dem Fritter unendlich großen Kapazität, R das Relais und B die Ortsbatterie.

Wenn auch in der Regel für den Empfang der Keilspaltfritter mit Vakuum als Wellenanzeiger zur Verwendung gelangt, weil nur mit dessen Hilfe in Verbindung mit Relais und Morseapparat eine schriftliche Zeichenniederlegung ermöglicht wird, so gelangt doch namentlich für lose gekoppelte Empfangsstationen mit scharfer Abstimmung der elektrolytische Wellenanzeiger in Verbindung mit Fernhörer vielfach zur Anwendung und wird dieser in der Regel bei größeren Stationen als Reserve für den normalen Morseapparat mitgeliefert.

Die für diesen Empfänger im Gebrauch stehende Schaltung zeigt Fig. 169, in welcher A den Luftdraht, J die Transformatorenwicklung, CC_1 Kondensatoren, E die Erde, Z den Wellenanzeiger, $r\,r_1$ induktive Widerstände, B die Ortsbatterie, P ein Potentiometer und T den Fernhörer darstellen. Der elektrolytische Wellenanzeiger wird als der einfachste und betriebssicherste Empfänger für drahtlose Telegraphie bezeichnet.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hat in dem Kraftwerk Oberspree der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Oberschöneweide eine Versuchsstation für große Reichweiten eingerichtet, bei welcher vier Schornsteine von 70 m Höhe das Sendegebilde tragen. Das Sendegebilde hat die Form einer rechteckigen, nach unten sich verjüngenden abgestutzten Pyramide und ist aus 100 Einzeldrähten zusammengesetzt. Der genannten Kraftstation wird Wechselstrom nach Bedarf entnommen und ist der Sender derart bemessen, daß er ca.

Digitized by Google

15 Kilowatt primärer Wechselstromenergie aufzunehmen vermag. Dieser Wechselstrom wird auf 50000 Volt transformiert und damit das Erregersystem gespeist. Bei Eintreten der Funkenentladungen setzen die Schwingungen mit einer Frequenz von 900000 in der Sekunde ein und erregen das Sendegebilde. Bei Aufwendung von nur 2 Kilowatt konnte eine einwandfreie Uebertragung auf 275 km über Land mit einer Masthöhe von nur 35 m Höhe des Empfangsmastes ermöglicht werden. Ebenso konnten allerdings unter Aufwendung größerer Energiemengen Nachrichten nach Karlskrona in Schweden über die Entfernung von 450 km gut übertragen werden, wobei der Empfangsmast ebenfalls nur 35 m hoch war. Auf Grund der mit dieser Einrichtung gewonnenen Erfahrungen ist die genannte Gesellschaft in der Lage, nach ihrem Systeme funkentelegraphische Verbindungen auf 1000 km und mehr unter Garantie der betriebssicheren Verständigung herstellen zu können.

Fig. 169.

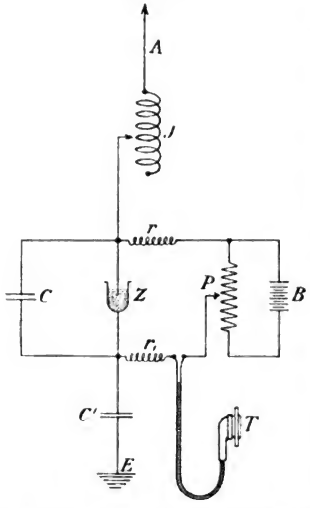


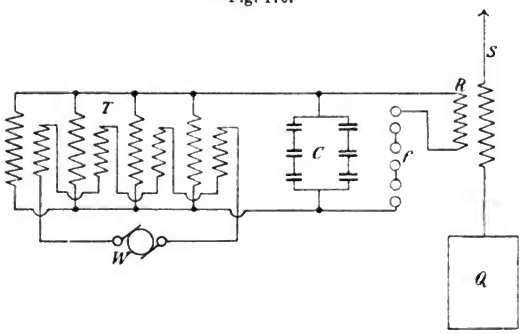
Fig. 170 zeigt in schematischer Weise die Anordnung der Sendestation und bezeichnen hier W die Wechselstrommaschine, T einen einfachen Hochspannungstransformator, C die Kondensatoren, f die unterteilte Funkenstrecke, R den Schwingungstransformator, S das Sendegebilde und Q das elektrische Gegengewicht.

Die in die F. d. T. S. 17 und 39 beschriebenen fahrbaren funkentelegraphischen Stationen für Militärzwecke haben durch die Gesellschaft „Telefunken" einen vollständigen Umbau erfahren und setzen sich nunmehr aus drei zweirädrigen Karren und zwar dem Kraftkarren, dem Apparatkarren und dem Gerätkarren zusammen. Im Kraftkarren ist die Kraftmaschine, bestehend aus einem Benzinmotor von 4 PS. mit elektromagnetischer Zündung und Wasserkühlung, ferner die direkt gekoppelte Wechselstrommaschine von 1 Kilowatt Nutzleistung und die Erregermaschine untergebracht. Der Wasser-

Digitized by Google

behälter befindet sich neben dem Benzinreservoir und wird die Zirkulation durch eine kleine Zahnradpumpe bewirkt. Die Kühlung des Wassers geschieht durch ein Rippenrohr und einen Ventilator. Das Benzinreservoir enthält ca. 30 l und reicht für einen 30stündigen ununterbrochenen Betrieb. Die Zündakkumulatoren werden von der Erregerdynamo automatisch aufgeladen. Der Apparatkarren ist in zwei Teile geteilt und enthält die Sende- und Empfangsapparate. Im Vorderteile liegen vor Berührung geschützt die Hochspannungsapparate, d. s. der Induktor, die Flaschenbatterie mit veränderlicher mehrfach unterteilter Funkenstrecke und der Hochspannungstransformator. Durch eine herausnehmbare Klappe der Seitenwand werden die regulierbaren

Fig. 170.

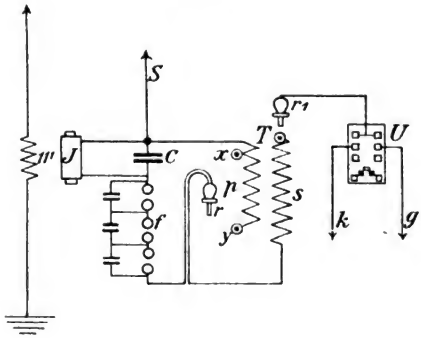


Teile zugänglich und kann sonach das Verstellen der Funkenstrecke sowie die Auswechslung von Flaschen leicht bewerkstelligt werden. Im rückwärtigen Teile dieses Karrens sind auf dem Boden die Morsetaste und auf einem gut federnden Brette zwei Empfangsapparate und der Morseschreiber untergebracht. Auf dem Brette befindet sich auch der kleine Empfangstransformator. Auf dem den Karren teilenden Gestelle sind der große Sendetransformator, der Empfangsstöpsel, sowie ein Gegengewichtsumschalter mit zwei Hebeln angebracht. An der einen Seite befindet sich außerdem noch die Einrichtung zum Empfange mittels Gehör, nämlich ein elektrolytischer Wellenanzeiger und ein Telephon. Der Oberteil des Wagens kann ohne Entfernung von Leitungsverbindungen abgehoben werden. Eine an der Außenseite des Apparatkarrens befestigte Steckdose dient zum Anschluß des vom Kraftkarren herführenden Stromleitungskabels. An den beiden

Digitized by Google

Seiten des Oberteiles ist je eine Kabeltrommel aufgehängt, auf welchen die Luftdrähte in Form von Kabeln aufgewunden sind. Das stärkere von diesen ist das Ballonkabel, das schwächere das Drachenkabel, da die Drähte je nach der Windstärke entweder von Drachenballons oder Leinwanddrachen hochgehoben werden. Die Drachenballons haben einen Inhalt von 10 cbm und einen Auftrieb von ca. 3 kg. Die Drachen eine nutzbare Windfläche von 1,1 qm. Die Kabel haben eine Länge von 200 m und dürfen, da die Systeme auf diese Länge abgestimmt sind, nicht durch leitende Materialien verlängert werden. Im Gerätekarren befinden sich die Gasbehälter, eine Reservebenzinreservoir, die Ballons, Drachen und das erforderliche Schanzgeräte. Die Gas-

Fig. 171.



behälter sind direkt in den Karren eingebaut und fassen ca. 10 cbm bei 120 Atm. Gasdruck. Sie sind auf 200 Atm. geprüft und mit entsprechenden Ventilen verschlossen. Zwei Behälter genügen zur Füllung eines Ballons.

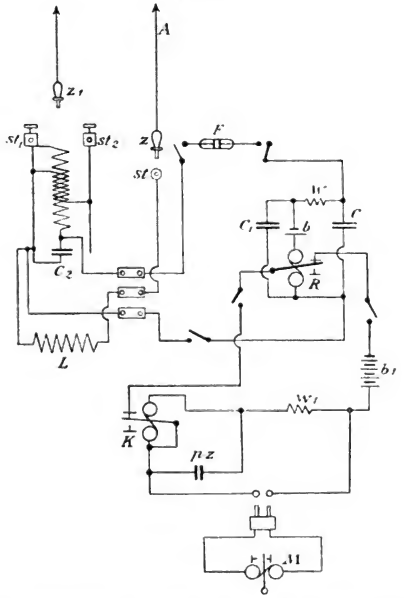
Die Stationen sind für zwei Wellenlängen und zwar von 350 m und 1050 m bei für beide Wellen gleichbleibendem Luftdraht eingerichtet. Der Luftdraht schwingt für die lange Welle in $^1/_4$ (Grundschwingung) und für die kurze Welle in $^3/_4$ (erster Oberton) Schwingung. Die elektrische Ausbalancierung findet für die lange Welle durch ein Gegengewicht von ca. 24 m² und für die kurze Welle durch ein solches von ca. 6 m², bestehend aus Kupferdrahtgaze, die ca. 1 m über dem Erdboden ausgespannt wird, statt.

Die für den Sender angewendete Schaltungsanordnung zeigt

Digitized by Google

Fig. 171. Von der sekundären Wicklung des Induktoriums J führen Leitungen zu den beiden Belegungen der Leidener Flaschenbatterie C. Diese bildet mit der unterteilten Funkenstrecke f und den primären Windungen p des Gebertransformators T einen geschlossenen Schwingungskreis, welcher durch Stöpslung von r in x oder y so abgestimmt

Fig. 172.



ist, daß seine Schwingungen entweder der längeren oder der kürzeren Welle entsprechen. An diesen Schwingungskreis wird einerseits der Luftdraht, anderseits durch den Stöpsel r_1 auch noch die sekundäre Wicklung s mit den jeweiligen Gegengewichten angeschlossen. Der Gegengewichtsumschalter U schaltet über k das kleine und über g das große Gegengewicht ein. Bei Erregung der langen Welle beträgt die Kopplung mit dem Erregerkreise 15 %, bei der kurzen Welle nur 10 %.

Beim Empfänger (Fig. 172) wird der Luftdraht A für die lange

Digitized by Google

Welle durch Einstecken des Stöpsels z in die Stöpselklemme st und für die kurze Welle durch Einstecken in die Stöpselklemme st_1 mit der Primären des Empfangstransformators verbunden. Im zweiten Falle liegt zwischen Luftdraht und der Primären noch ein induktiver Widerstand L. Das andere Ende der Primären steht durch Stöpslung von z_1 in st_2 mit dem elektrischen Gegengewichte in Verbindung. Die Sekundäre schließt einseitig an die Verbindung mit der Primären an und führt mit dem zweiten Ende zum Fritter F, dessen zweites Ende über einen Kondensator C wieder zum elektrischen Gegengewicht geleitet ist. Parallel zu diesem Kondensator liegt das Fritterelement b mit einem Vorschaltwiderstand w von 6000 Ohm und dem Relais R. Wird der Fritter zum Fritten gebracht und das Relais angezogen, so schließt der Anker des Relais den Stromkreis der aus vier Elementen bestehenden Batterie b_1 und diese betätigt den Klopfer K und den hierzu parallel geschalteten Schreibapparat M. Zur Erzielung eines leichten Schlages liegt mit den Spulen des Klopfers in Reihe ein bifilar gewickelter Widerstand w_1 von 20 Ohm. Das Auftreten eines Oeffnungsfunkens am Klopfer wird durch eine zu den Klopferspulen parallel gelegte Batterie von fünf Polarisationszellen pz hintangehalten.

Da bei zu großer Intensität der einlangenden Wellen, d. h. bei zu geringer Entfernung der sprechenden Stationen der Fritter gefährdet ist, müssen sowohl beim Sender als beim Empfänger Abschwächungen vorgenommen werden. Beim Sender geschieht dies dadurch, daß man die drei Funkenstrecken verkleinert oder eine oder auch zwei dieser Funkenstrecken kurzschließt. Beim Empfänger läßt sich die Intensität des Empfanges auf dreierlei Weise abschwächen und zwar 1. durch Regulieren des Keilspaltfritters (s. d. F. d. T. S. 33), welcher sich in seiner empfindlichsten Lage befindet, wenn die schmalste Oeffnung des Keilspaltes nach unten zu liegen kommt, 2. durch eine Aenderung des Kopplungsgrades des Empfangstransformators, indem man die Primärspule nach oben verschiebt, so daß sie die Sekundärspule nur wenig oder gar nicht umfaßt, und 3. durch Abnehmen bezw. Abschalten des elektrischen Gegengewichtes am Sender oder am Empfänger.

Letzteres erfolgt, wenn der Abstand zwischen Sender und Empfänger zwischen 2 bis 10 km schwankt. Bei Entfernungen unter 2 km bis 0,5 km herab darf der Luftdraht nicht mehr in den Empfangsapparat gestöpselt werden.

Wird die Intensität sehr gering, was dann eintritt, wenn die Stationen so weit entfernt sind, daß die Grenze ihrer Reichweite nahezu

Digitized by Google

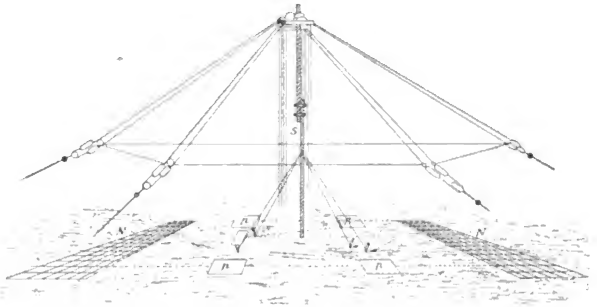
erreicht ist, so sind alle Apparate, welche eine Aenderung der Intensität ermöglichen, auf ihre Höchstempfindlichkeit einzustellen.

Die Einrichtungen nach System „Telefunken“ sind bereits sehr zahlreich im Betriebe und zwar sowohl in Deutschland als auch in allen europäischen und außereuropäischen Ländern, darunter auch in den Vereinigten Staaten von Nordamerika mit der gewiß erheblichen Anzahl von 66 Stationen, und ist dies im Verhältnisse zur kurzen Zeit des Bestehens dieses neuesten Verständigungsmittels und dem scharfen Konkurrenzkampfe, der auch auf diesem Gebiete wogt, wohl eines der besten Zeugnisse für die Zuverlässigkeit des Wirkens. Dies dürfte außer den dem Systeme zu Grunde liegenden besonderen Eigenheiten in erster Linie der sorgfältigen, alle Einzelheiten berücksichtigenden Ausführung der Einrichtungen, sowie der genauen Anpassung an die besonderen örtlichen Verhältnisse zuzuschreiben sein. Eine Hauptbedingung, um sich das Vertrauen zu erwerben, ist, daß auch die gelieferten Einrichtungen allen den gewährleisteten Wirkungen unter allen Umständen voll entsprechen. Nun ist es eine bekannte Tatsache, daß die Uebertragungsweite für zwei bestimmte Stationen bei sonst gleichbleibendem Energieaufwande keine gleichbleibende ist, sondern wesentlich von der Beschaffenheit der Atmosphäre abhängt. Die elektrischen Schwingungen werden bei verschiedener Beschaffenheit der Atmosphäre ungleich weit übertragen. Die Uebertragungsintensität ändert sich namentlich in den Sommermonaten innerhalb weniger Stunden oft in einer Weise, daß zur Ueberwindung einer bestimmten Entfernung unter ungünstigen Verhältnissen der zwei- bis dreifache Energieaufwand notwendig wird, wie bei günstiger Witterung. Es muß demnach diesem Wechsel schon bei der Projektierung und Einrichtung durch Einführung eines Sicherheitsfaktors Rechnung getragen werden, und soll demnach jede Station, für welche eine bestimmte Reichweite gewährleistet wird, so bemessen sein, daß sie bei günstigen atmosphärischen Verhältnissen mindestens die dreifache Reichweite erzielt. Dieser Erwägung wird bei den Einrichtungen nach dem Systeme „Telefunken“ ausgiebig Rechnung getragen, indem die Stationen wesentlich größer dimensioniert werden als bei anderen Systemen. Dessenungeachtet kann unter abnormalen atmosphärischen Verhältnissen, wie dies gerne zugegeben wird, die Nachrichtenübertragung zeitweilig aussetzen. Die Zahl der Störungen ist jedoch nicht größer als bei Telephoneinrichtungen mit oberirdischer Leitung und beschränken sich diese Störungen auf die Zeit kurz vor und kurz nach Gewitterbildungen.

Digitized by Google

Die Einrichtungen der drahtlosen Telegraphie für Militärzwecke von Lodge-Muirhead[1]). Die Haupteigenschaft dieser Einrichtungen besteht in der Schnelligkeit, mit welcher die Stationen errichtet, abgebrochen und transportiert werden können. Nach der Ansicht der Erfinder ist die rasche Erreichung des Synchronismus für diese Art von Einrichtungen viel wichtiger als die Verwendung hoher Luftdrähte. Vom militärischen Standpunkte ist mit Rücksicht auf die Raschheit, mit welcher derartige Einrichtungen errichtet und abgebrochen werden müssen, die Verwendung hoher Luftdrähte mit großen Schwierigkeiten verbunden. Die hohen Stützmaste lassen sich auch, wenn sie aus mehreren Stücken zusammengesetzt

Fig. 173.



sind, nur schwer transportieren und ist auch deren Aufstellung immerhin zeitraubend. Ballons und Drachen, welche zum Hochheben der Luftdrähte teilweise mit Erfolg benutzt wurden, erschweren wieder durch ihre von der Windrichtung abhängige Lage die Durchführung einer scharfen Abstimmung.

Der Wellensender bezw. Wellenfänger von Lodge-Muirhead für zeitweilige Einrichtungen, die nur auf eine Entfernung von 36 km wirken sollen, hat nur eine Höhe von 15 m. Die Errichtung dieser Sender bezw. Fänger nimmt nicht mehr als 40 Minuten Zeit in Anspruch, das Abtragen und Verpacken hingegen 45 Minuten. Die Einrichtung der Luftleiter hat die Form eines Daches oder einer aufrecht stehenden Pyramide im Gegensatze zu der von Marconi in Poldhu und anderen großen Stationen verwendeten umgekehrten Pyramide.

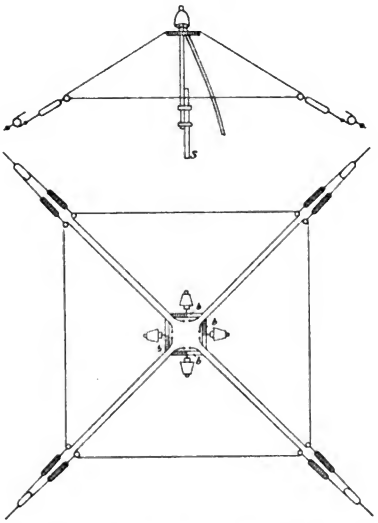
[1]) E. E., Bd. 38, Nr. 5.

Digitized by Google

Die Fig. 173 und 174 zeigen die zur Anwendung gelangende Einrichtung und stellt Fig. 173 eine Totalansicht in der Perspektive, Fig. 174 hingegen die Draufsicht und eine Seitenansicht des oberen Teiles dar.

Das Dach oder die Pyramide besteht aus 4 Dreiecken aus Draht und sind die 8 Drahtenden um Holzstücke b (Fig. 174) gewunden und werden von dort über die Isolatoren i direkt zu den Apparaten geführt. Diese Anordnung ist zur Erzielung einer größeren Ueber-

Fig. 174.



sichtlichkeit und leichteren Handhabung getroffen. Der so gebildete Holzrahmen wird auf eine Stangenstütze s (Fig. 173 und 174) aufgesetzt und das Ganze durch seitliche Spanndrähte, wie dies aus Fig. 173 ersichtlich, fest verspreizt. Da die Drähte der Dreiecke gleichzeitig die Fang- bezw. Sendedrähte darstellen, gehen die Spanndrähte unter Zwischenschaltung von Hochspannungsisolatoren von diesen Drähten ab.

An Stelle einer gewöhnlichen Erdleitung werden, wie dies Fig. 173 zeigt und wie dies bei den funkentelegraphischen Einrichtungen für

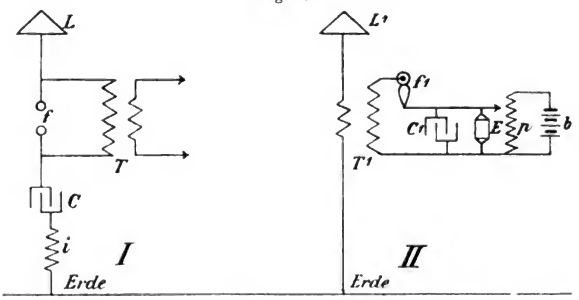
Digitized by Google

Militärzwecke von Slaby-Arco [1]) ähnlich angeordnet ist, zwei Netze N N aus Kupferdraht, sowie mehrere Metallplatten p p einfach auf die Erde gelegt, wodurch, da diese Erdung vollkommen genügt, die Schwierigkeit der Herstellung einer entsprechenden Erdleitung überwunden ist.

Die Luftmaste werden für den Transport im Inneren des Apparatenwagens untergebracht. Die Luftdrähte sind aus Kupfer und wiegen ungefähr 18 kg. Der Mast samt den Spanndrähten, den Erdungsplatten und Netzen annähernd 355 kg und der Wagen samt den Instrumenten ungefähr 500 kg, so daß ein Gesamtgewicht von nicht mehr als rund 900 kg zu transportieren ist.

Fig. 175 zeigt schematisch die Schaltung des Sendestromkreises I und des Empfangskreises II. L L stellen hier die Luftdrähte, f die

Fig. 175.



Funkenstrecke, TT_1 den Transformator des Sende- bezw. Empfangskreises, f^1 den Fritter von Lodge mit rotierender Scheibe, CC^1 einen Kondensator, E den Empfangsapparat, p ein Potentiometer und b die Batterie für den Empfangskreis dar. Der Sendedraht ist wie zu ersehen nicht direkt, sondern über einen Kondensator unter Zwischenschaltung einer Selbstinduktion i geerdet.

Das System der drahtlosen Telegraphie von Rochefort [2]). Bei diesem Systeme, über welches Näheres erst in jüngster Zeit verlautbart wurde, sind als wesentliche Abweichungen gegenüber anderen Systemen nur die besondere Konstruktion des verwendeten Induktors, sowie zur Herstellung einer Abstimmung die Verwendung des von Dr. Oudin erfundenen Resonators zu bezeichnen. Aber auch

[1]) D. F. d. T., S. 43.
[2]) E. W., Bd. 44, S. 97.

Digitized by Google

die allgemeine Ausgestaltung der gesamten Einrichtung weist manche wenn auch nicht prinzipielle, so doch bemerkenswerte Einzelheiten auf, die dafür Zeugnis ablegen, daß alle in Betracht kommenden Umstände in sorgfältigster Weise berücksichtigt wurden.

Der von Oudin konstruierte unipolare Resonator besteht (Fig. 176) aus zwei Kondensatoren, als welche am besten Leidener Flaschen gewählt werden, deren innere Beläge mit leitenden, in Kugeln endigenden Stäben verbunden sind. Die beiden Kugeln bilden die Funkenstrecke. Von diesen beiden Stäben führt je ein Draht zu einem Ende der Sekundären eines Induktoriums (CD) oder zu den Polen einer sonstigen Quelle von Hochspannungsströmen. Der äußere Belag E der einen Leidener Flasche ist an dem Punkte F mit dem einen Ende einer Induktionswicklung verbunden, wogegen der äußere Belag G der zweiten Flasche an jedem beliebigen Punkt, beispielsweise bei H dieser Wicklung angelegt werden kann.

Für die Ladung werden die Funkenkugeln so lange einander näher gerückt, bis deren Potentialdifferenz hinreichend groß wird, um die Luftstrecke zu überwinden, worauf die oszillatorische Entladung einsetzt. Die in dem Systeme erregten Schwingungen verlaufen synchron mit den Entladungsfunken, welche durch den Kreis, der durch F H der Induktionswicklung die äußeren und inneren Beläge der Leidener Flaschen gebildet wird, verstärkt werden und es bildet sich an dem Ende K dieser Wicklung ein oszillierendes elektrisches Kraftfeld aus. Dieses durch die Schwingungen erzeugte Kraftfeld wird bei einem gegebenen Energieaufwande dann ein Maximum, wenn der durch die zwischen F und H liegenden Windungen dargestellte Wert der Induktion entsprechend gewählt ist.

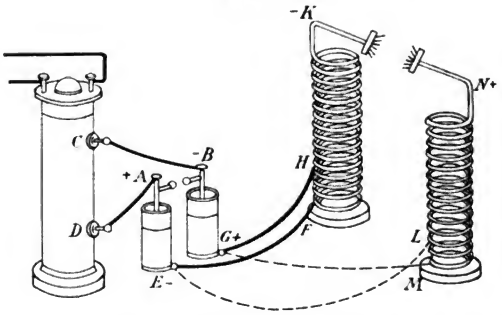
„Der Anschaltepunkt", wie er von Rochefort genannt, durch welchen der Stromkreis bei H hergestellt wird, ändert sich mit der Kapazität der Leidener Flaschen und der Anzahl der Gesamtwindungen der Induktionswicklung, ist aber von der Länge der Funkenstrecke, sowie dem Potentiale des Entladestromes vollständig unabhängig. Ist nur eine Induktionswicklung vorgesehen, so entsteht bei K eine Büschelentladung von charakteristischer Form, die sich bis auf eine Entfernung von 10 bis 12 cm erstreckt.

Dieser Resonator ist nur einpolig und eignet sich in dieser Form für die Zwecke einer abgestimmten Funkentelegraphie nur wenig. Die Betrachtung des Vorganges, wenn eine Ladung von bestimmten Zeichen bei K hervorgerufen wird, führt zur Anwendung eines doppelpoligen Resonators. Um diesem Vorgange näher

Digitized by Google

zu treten, sei angenommen, daß die Potentialdifferenz zwischen den beiden Funkenkugeln gerade jene Höhe erreicht hat, um die zwischenliegende Luftschicht zu durchbrechen, ferner daß die Flasche A negativ und die Flasche B positiv geladen ist. Dementsprechend muß auch der äußere Belag E der Flasche A positiv und der äußere Belag G der Flasche B negativ geladen sein. Sobald der Funke überspringt, nimmt der Strom seinen Weg über die Induktionswicklung in der Richtung G H E F. Durch diesen Strom wird nun in dem Teile H K der Wicklung ein Strom entgegengesetzter Richtung induziert,

Fig. 176.



welcher seine maximale Spannung von positivem Potential am Ende K erreichen muß.

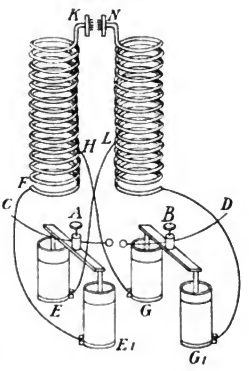
Der oszillatorischen Natur der Entladung entsprechend werden die folgenden Entladungen ihre Zeichen wechseln und vorerst bei K ein negatives Kraftfeld entwickeln, so daß bei K eine negative Entladung stattfinden muß, welche bei der nächstfolgenden Entladung das Zeichen wieder wechselt u. s. f.

Wird hingegen eine zweite Induktionswicklung L M N sehr nahe und parallel zur ersten Wicklung angeordnet und diese mit den äußeren Belegungen der Leidener Flaschen, jedoch in umgekehrter Weise wie bei der ersten Wicklung verbunden, wie dies in Fig. 176 durch die punktierten Linien angedeutet ist, so entsteht am Ende dieser Wicklung bei N bei den disruptiven Entladungen eine Ladung von hohem Potentiale und entgegengesetztem Vorzeichen. Die beiden Ladungen bei K und N werden sich gegenseitig anziehen. Bei gleicher Verbindung der beiden Wicklungen mit den Flaschen entstehen an deren

Digitized by Google

Enden gleichartige Ladungen, die sich gegenseitig abstoßen. Es können sonach durch die Anwendung eines doppelpoligen Resonators die Wirkungen entsprechend verstärkt bezw. aber auch abgeschwächt werden. Für ein gutes Wirken soll aber die Selbstinduktion der beiden Wicklungen gleich sein, was sich jedoch in der Praxis nur sehr schwer durchführen läßt. Um hierfür einen Ausgleich zu finden, soll wenigstens eine der Flaschen veränderlich gemacht werden, so daß ein absoluter Wert leicht erreicht werden kann.

Fig. 177.



Um die beiden Teile des Resonators innerhalb gewisser Grenzen einregulieren zu können und sie auch gegenseitig voneinander unabhängig zu machen, kann (Fig. 177) die Kapazität aus vier oder noch mehreren Flaschen gerader Zahl zusammengestellt werden. Es werden hier die inneren Beläge je einer Serie von Flaschen gemeinsam verbunden und gehen von dem Verbindungsstück jeder dieser Serien die Funkenkugeln aus. Die Verbindung der Resonatorspulen mit den Flaschen geschieht dann in der dargestellten Weise.

Der vollständige Resonator wird sonach durch eine einzige Funkenstrecke betätigt, doch arbeiten die beiden Resonatoren unabhängig voneinander, da deren primäre Stromkreise getrennt und verschieden sind.

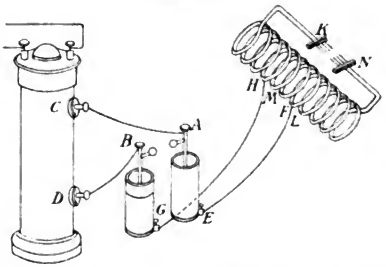
Diese Anordnung gibt sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Doppelte Polarität kann auch dadurch erhalten werden, daß nur eine Resonanzspule verwendet wird, die bei den Punkten M und F (Fig. 178) mit den beiden äußeren Belägen der Flaschen in Verbindung steht. Hier wirkt der zwischen diesen beiden Punkten gelegene Teil der Windungen als die Primäre. Aber es ergibt sich hierbei der Nachteil, daß die beiden Spulen gegenseitig abhängig werden.

Fig. 179 zeigt eine vollständige Sendestation nach der Einrichtung von Rochefort. Die Strom- oder Energiequelle A besteht in der Regel aus einer Sammlerbatterie. Ein Ende dieser Batterie ist mit der primären Windung des Induktionsapparates J über ein aperiodisches Ampèremeter N verbunden. Vom anderen Ende der Batterie geht die Verbindung zum zweiten Ende der Primären des Induktions-

Digitized by Google

apparates über einen Zeichengeber M und einen wechselseitig wirkenden Unterbrecher B, zu welchem ein Kondensator C im Nebenschlusse geschaltet ist. Der Wert dieses Kondensators wird so lange geändert, bis die günstigste Kapazitätswirkung erreicht ist. Der Unterbrecher wird von einer besonderen Stromquelle a gespeist. Die beiden Enden der Sekundären des Induktors stehen mit den Funkenkugeln $F F_1$ und in Abzweigung mit dem Luftdrahte L bezw. mit der Erde E in Verbindung. Für ein abgestimmtes System wird jedoch der Resonator (Fig. 177) zwischengeschaltet und werden dementsprechend die Enden K und N der Resonatorspulen mit dem Luftdrahte bezw. mit der Erde

Fig. 178.



und die mit C und D bezeichneten Drähte mit den Enden der Sekundären des Induktors verbunden.

Die verwendete Akkumulatorenbatterie B ist aus 12 Zellen zusammengesetzt und gibt einen Strom von 6 bis 9 Amp. bei 24 Volt und hat eine Kapazität von 100 Ampèrestunden. Es kann allenfalls auch eine Gleichstromdynamo an Stelle der Batterie verwendet werden, wenn die Primäre des Induktors der höheren Spannung entsprechend gewunden ist und eine etwaige Steigerung der Stromstärke durch einen Rheostaten unschädlich gemacht werden kann.

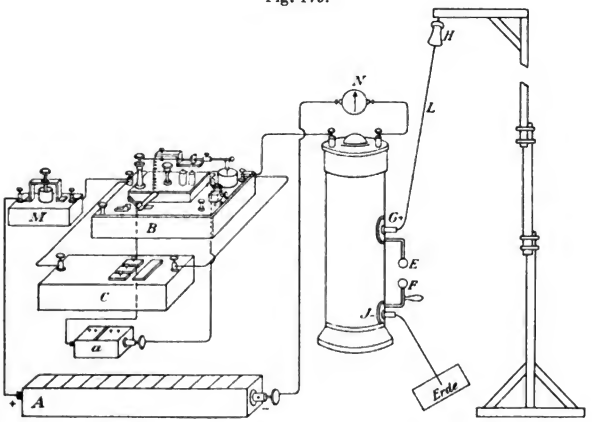
Für die Hervorrufung der Morsezeichen (Punkte und Striche) gelangt ein Zeichengeber besonderer Bauart zur Verwendung. Er besteht aus einem senkrechten Metallstifte, der an seinem oberen Ende einen Ebonitknopf trägt und unten in eine Platinspitze endigt. Dieser Stift bildet ein Ende des primären Stromkreises. Unterhalb dieses Stiftes befindet sich eine mit Quecksilber gefüllte Schale, die das zweite Ende des primären Kreises darstellt. Wird dieser Stift an dem Ebonitknopfe niedergedrückt, so tritt die Platinspitze mit dem

Digitized by Google

Quecksilber in Berührung und es schließt sich der primäre Kreis. Nach Aufhören des Druckes schnellt der Stift, durch eine entgegenstrebende Spiralfeder getrieben, in die Höhe, wodurch der Stromkreis wieder unterbrochen wird. Ueber dem Quecksilber befindet sich in der Regel eine Schicht Petroleum, welches die Bildung eines Funkens beim Unterbrechen unterdrückt, so daß ein Strom von 9 bis 10 Amp. mit Sicherheit unterbrochen werden kann.

Der verwendete Unterbrecher ist auf den gleichen Grundlagen wie der Zeichengeber aufgebaut, indem auch hier ein ähnlich ausgestatteter Metallstift abwechselnd in Quecksilber taucht und sich

Fig. 179.



heraushebt, nur daß die Wirkung dieses Unterbrechers bei Sendung ununterbrochen anwährt. Dieser Stift wird durch ein nach dem Prinzipe der Selbstunterbrecher gebautes Relais, welches von einer besonderen Stromquelle angetrieben wird, betätigt. Der zum Unterbrecher im Nebenschlusse geschaltete Kondensator ist ein Mica-Zinnfolie-Kondensator und regulierbar.

Der von Rochefort benutze Induktor ist von der stehenden Type und soll nach dessen Angaben den Bedürfnissen der drahtlosen Telegraphie vollkommen angepaßt sein, weil das Potentiale an den Enden der Sekundärspule dissymmetrisch ist. Um dieses Ziel zu erreichen, besteht die Sekundäre aus einer doppelten Drahtwicklung,

Digitized by Google

deren beide Enden zu dem Ausgangspunkte zurückkehren und sich dort vereinigen. Während die Spannung in der Mitte der Spule vernachlässigt werden kann, soll sie hierdurch an den Enden verstärkt werden. Der negative Pol der Funkenstrecke ist mit der Erde und der positive Pol mit dem Luftdrahte verbunden.

Die Kugeln der Funkenstrecke haben 2 cm im Durchmesser und sind gegeneinander verschiebbar, so daß jede beliebige Funkenlänge innerhalb des Wirkungsbereiches des Induktors hergestellt werden kann.

Der Luftdraht wird an einem für diesen Zweck besonders hergestellten Isolator aufgehängt. Dieser Isolator besteht aus einem Hartgummimantel von 50 cm Länge und 2 cm Durchmesser, der in eine Porzellanglocke eingelassen ist. Im Innern des Hartgummimantels wird der aus fünf bis sechs Drähten bestehende 8 mm starke und durch Guttapercha isolierte Luftdraht aufgehängt.

Der zweite Pol der Funkenstrecke wird über einen starken Draht zur Erde geführt. Als Erdverbindung dient eine große Metallplatte bezw. Metallplatten, die am besten in feuchtem Boden versenkt werden. Rochefort legt auf eine gute Erdung besonderen Wert, insbesondere dann, wenn es sich um die Uebertragung von Nachrichten auf große Entfernungen handelt. Die zur Erdplatte führende Leitung soll vorzüglich isoliert sein und ist insbesondere dafür Sorge zu tragen, daß sie mit dem Gebäude, in welchem sich die Apparate befinden, niemals in leitende Berührung tritt und wird daher auf Glas- oder Porzellanrollen befestigt.

Die Wirkungsweise der Apparate für die Uebertragung von Nachrichten mittels Morsezeichen ergibt sich aus Fig. 179. Will eine Nachricht entsendet werden, so wird vorerst der Unterbrecher in Betrieb gesetzt, sodann werden die Funkenkugeln so weit gegeneinander gerückt, daß deren Abstand zwischen 5 bis 10 cm beträgt. Die Zeit, in welcher die Taste zur Hervorbringung der Morsezeichen niedergedrückt wird, bestimmt die Anzahl der durch den Quecksilberunterbrecher bewerkstelligten Unterbrechungen, von welchen wieder die Anzahl der Entladungen über die Funkenstrecke, somit auch der Schwingungen abhängt. Das beste Ergebnis wird erzielt, wenn der Unterbrecher 24 bis 30 Unterbrechungen in der Sekunde vollführt. Die Entladung setzt sich aus 10 bis 50 Funken zusammen und erfolgt praktisch momentan.

Wie bereits erwähnt, wird, falls eine abgestimmte Telegraphie erwünscht ist, der Oudinsche Resonator zwischengeschaltet und ist man durch entsprechende Aenderung der Werte Kapazität und Selbst-

Digitized by Google

induktion in der Lage, in dem Schwingungskreise Schwingungen der gewünschten Art zu erzeugen.

In der Rochefortschen Empfängeranordnung (Fig. 180) stellt L den Luftleiter, F den Fritter, E die Erde, K den Klopfer, R das Empfangsrelais, M den Morseapparat und $b\,b_1$ die Lokalbatterien dar. Das Relais R ist mit der Batterie b zu dem Fritter F parallel geschaltet, ebenso befinden sich der Morseapparat M und der Klopfer K zur Batterie b_1 in Parallelschaltung. Die Wirkung erklärt sich von selbst.

Die gemeinschaftliche Verwendung des Luftleiters und der Erde für die Sendung und den Empfang bedingt die Anordnung eines Um-

Fig. 180.

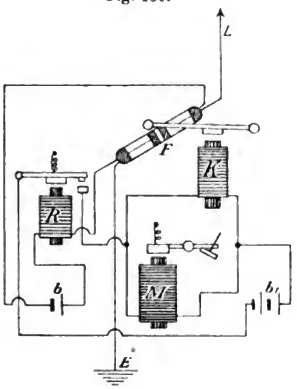
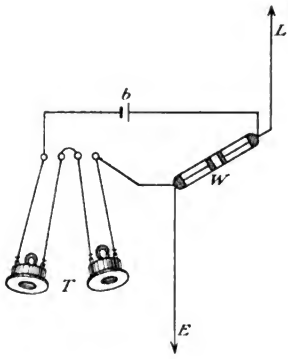


Fig. 181.



schalters, um diese beiden je nach Bedarf mit der Sende- oder der Empfangseinrichtung verbinden zu können, und gelangt hierfür ein doppelpoliger Umschalter zur Anwendung.

Als Relais wird ein gewöhnliches Relais mit einem Widerstande von 1000 Ohm verwendet. Für den Empfang von großen Entfernungen soll sich hingegen das polarisierte Relais von Claude besser bewähren.

Als Fritter werden zwei Arten verwendet und zwar der Fritter von Tissot (S. 163) und der Fritter von Rochefort (S. 164).

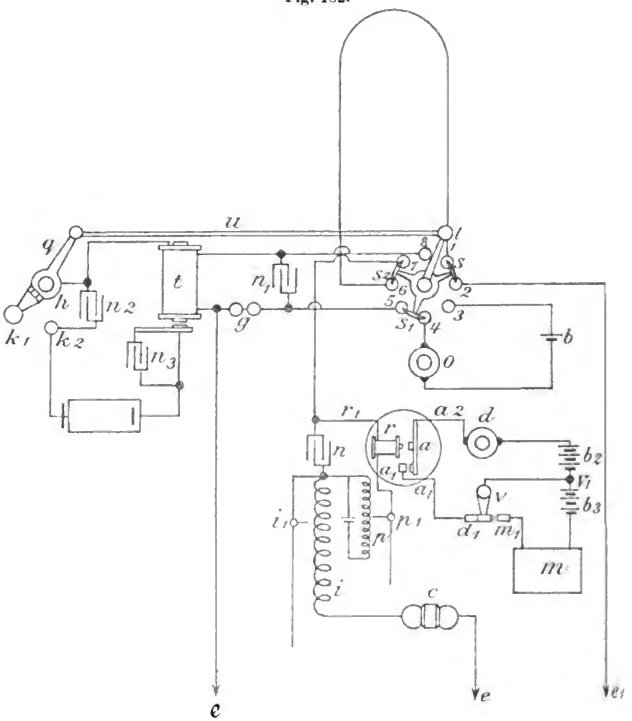
Für gewisse Fälle gelangt auch ein selbstentfrittender Fritter zur Anwendung und vereinfacht sich dann der Empfänger wesentlich, indem sodann ein Paar Telephone T (Fig. 181) in Verbindung mit

Digitized by Google

einer Lokalbatterie b im Nebenschlusse zum Fritter W angeschaltet werden.

Das funkentelegraphische Apparatsystem von Nevil Maskelyne[1]). Dieses von dem bekannten englischen Physiker er-

Fig. 182.



sonnene System der drahtlosen Telegraphie unterscheidet sich von den bereits bekannten Anordnungen dadurch, daß sowohl im Sender als auch im Empfänger die elektrischen Schwingungen statt in einfachen offenen Drähten in geschlossenen Stromkreisen (Schleifen) erzeugt

[1]) The Electrician, 14. Okt. 1904.

Digitized by Google

werden, die aus gut isoliertem Drahte oder aus einer Reihe parallel geschalteter Drähte bestehen.

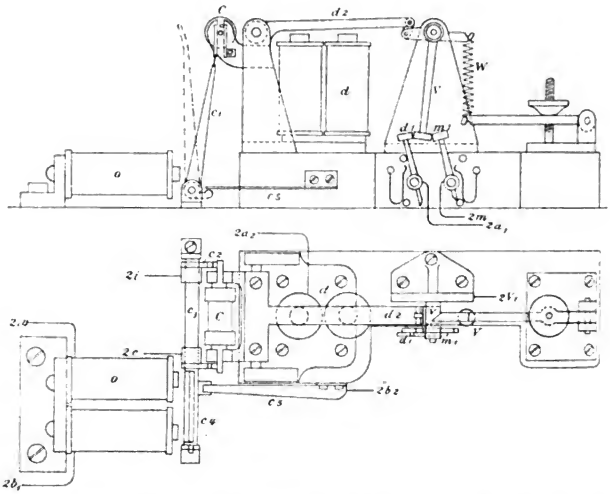
Beim Sender (Fig. 182) ist der um die Achse h drehbare Tastenhebel q so aufgestellt, daß er nur eine begrenzte Bewegung nach rechts oder links machen kann. Das Ende dieses Hebels steht durch den Hartgummistab u mit der Kurbel eines Umschalters l in Verbindung. Dieser Umschalter besteht aus einer dreiarmigen Kurbel, um die acht Kontakte angeordnet sind. Die drei Arme sind isoliert und tragen die Metallsegmente s, s_1 und s_2, welche je nach der Stellung der Kurbel verschiedene Kontaktpaare miteinander verbinden. In der Ruhelage ist der Stab u nach rechts gezogen und verbinden die Metallsegmente s_2 und s die Kontakte 6/7 und 1/2, an welchen die Enden des Empfangskreises liegen, wodurch auch der Geberstromkreis abgeschaltet bleibt. Bei Drücken des Tasterhebels nach rechts schließen sich die Kontakte k_1 und k_2 des Senderstromkreises und verbinden gleichzeitig die Segmente s und s_2 die Kontakte 1/8 und 6/5, wodurch die Luftdrahtschleife mit dem Sendesystem verbunden wird. Das Segment s_1 schließt hierbei durch die Kontakte 4/3 den Stromkreis zum Abschalten des Wellenanzeigers, auf welchen später zurückgekommen wird. Sämtliche Kontakte liegen in einem Oelbade, um beim Geben ein Funkenüberspringen zu verhüten.

Für die Wellenanzeige dient der bereits auf S. 167 beschriebene Konjunktor. In der Empfangstellung wird ein Ende der Luftdrahtschleife durch die Kontakte 1, 2 unmittelbar mit der Erde e_1, das andere Ende über den Kondensator n, eine regulierbare Selbstinduktion i und den Konjunktor c mit der Erde e verbunden. Ist der Konjunktor nicht erregt, so geht kein Strom aus der Batterie b durch das Relais r. Wird jedoch der Konjunktor von elektrischen Schwingungen beeinflußt und hierdurch leitend, so gelangt die Batterie b zur Wirkung, erregt das Relais r und setzt dessen Anker a in Bewegung, welcher zwei Lokalkreise schließt, und zwar den Stromkreis des Klopfers oder Disjunktors d, der die Leitfähigkeit des Fritters aufhebt und den Stromkreis des Schreibapparates m. Die beiden Lokalbatterien b_2 und b_3 sind hintereinander geschaltet. Von der Verbindungsstelle v_1 zwischen beiden führt ein Draht zur Kurbel v eines Ausschalters mit den Kontakten d_1 und m_1. Die Kurbel v wird durch den Anker d_2 des Klopfers d und die Spiralfeder w entweder nach rechts oder links verschoben. Der Kontakt d_1 (Fig. 183) ist mit dem Arbeitskontakt a_1 des Relais r, der Kontakt m_1 mit dem Schreibapparat m verbunden. Ist der Relaisanker a angezogen, so geht der Strom von v_1 zu der Kurbel v und

Digitized by Google

durch den Kontakt d_1 über a_1—a—a_2—d zu v_1 zurück. Der Elektromagnet des Klopfers zieht seinen Anker d_2 an, der wieder die bewegliche Kurbel v umstellt. Sobald v die Bewegung beginnt, kommt der Arm mit dem Kontakte m_1 in Berührung und der Schreibapparat spricht an. Sowie v seine Bewegung vollendet, verläßt der Arm den Kontakt d_1 und unterbricht dadurch den Relaisstromkreis. Der Anker d_2 wird wieder losgelassen, dadurch der Fritter geschüttelt, sohin alle Teile in den Normalzustand rückversetzt und zur Aufnahme neuer

Fig. 183.



Schwingungen bereitgestellt. Es sind sonach vom Beginne der Bewegungen von v bis zur Beendigung dieser Bewegung beide Lokalstromkreise geschlossen.

Um den Fritter (Konjunktor) vor den von dem eigenen Sender ausgehenden Schwingungen zu schützen, wird er während des Gebens durch das Relais o ausgeschaltet (Fig. 182), dessen Stromkreis durch Verbindung der Kontakte 3, 4 mittels des Segmentes s_2 geschlossen wird. Die Verbindung der Pole des Fritters c mit dem Fritterstromkreise erfolgt durch die Kontaktfedern c_1 und c_2, die auf einer drehbaren Achse c_3 befestigt sind.

Digitized by Google

Der Anker c_4 auf dieser Achse hebt, wenn er von dem Relais angezogen wird, die Kontaktfedern c_1 und c_2 von den Fritterpolen ab, welche im Ruhezustand durch die Feder c_3 an diese angedrückt werden. Wird beim Geben die Taste niedergedrückt (nach rechts bewegt), so schließt das Segment s_2 den Stromkreis des Relais o und schaltet

Fig. 184.

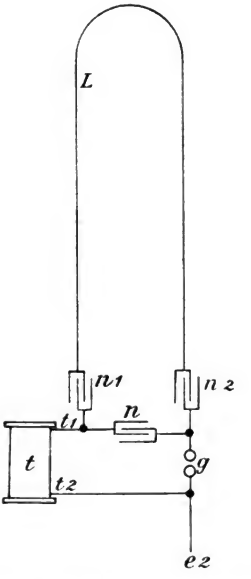
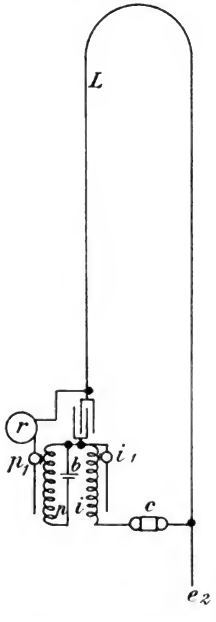


Fig. 185.



hierdurch den Wellenempfänger ab, welcher beim Loslassen der Taste wieder selbsttätig eingeschaltet wird.

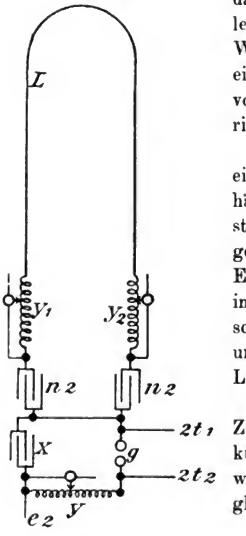
Fig. 184 stellt die Senderanordnung, Fig. 185 die Empfängeranordnung und Fig. 186 eine Geberanordnung mit Einrichtung zur Veränderung der Schwingungsfrequenz in schematischer Weise dar. In der letzten Figur bedeuten y, y_1, y_2 regulierbare Selbstinduktionen und x eine regulierbare Kapazität.

Das System der drahtlosen Telegraphie von James

Digitized by Google

Foster King[1]). Bei diesem neuen Systeme der drahtlosen Telegraphie, welches eine Reihe besonderer Eigentümlichkeiten aufweist, wird von der Verwendung eines Induktoriums oder eines Wechselstromgenerators in Verbindung mit einem Transformator zur Erhöhung der Spannung gänzlich Umgang genommen, und ist die Erregung der Schwingungen auf der Tatsache aufgebaut, daß ein Kondensator mit Gleichstrom ebenso leicht geladen werden kann, als mit einem Wechselstrom und die plötzliche Entladung eines Kondensators über einen Stromkreis von geringem Widerstande immer oszillatorischer Natur ist.

Fig. 186.



Die neue Methode der Umwandlung eines Gleichstromes in oszillierende Ströme hängt hauptsächlich von dem großen Ansteigen der Spannungsdifferenz zwischen den gebrochenen Enden eines vorher geschlossenen Erregerkreises ab, welcher eine große Selbstinduktion zum Zwecke der Ladung eines geschlossenen Schwingungskreises enthält, der unabhängig mit dem Ladekreis und dem Luftdrahte verbunden ist.

Um einen maximalen Stromfluß in dem Zwischenraume, welcher die beiden Funkenkugeln trennt, aufrecht zu erhalten, ist es wesentlich, daß die erregende Energie unter gleichbleibendem Drucke zugeführt wird.

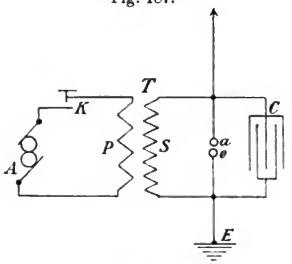
Das Transformationsverhältnis zwischen der Anfangsspannung des erregenden Stromes und der zwischen den Enden des unterbrochenen Kreises entstehenden Spannung wird hierbei bedeutend größer sein als jenes, welches man durch eine brauchbare Transformatortype von annähernd gleichem Ausmaße wie die verwendete Selbstinduktionsrolle erhält. Dieses Verhältnis ist durch die Formel $V'' = V \sqrt{L/J}$ gegeben, worin V'' die Spannung an den Enden des unterbrochenen Stromkreises, V die Spannung des erregenden Stromes, L die Selbstinduktion jenes Teiles der Induktionsrolle, welcher sich im geschlossenen Kreise und J die Selbstinduktion der Induktionsrollen bedeutet.

[1]) E. W., Bd. 45, S. 146.

Digitized by Google

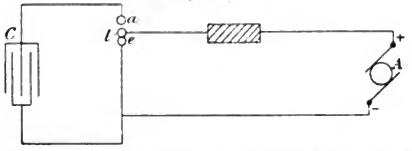
Vergleicht man die Anordnung eines geschlossenen Schwingungskreises (Fig. 187), auf welchen die Energie einer Wechselstromquelle mittels Transformators auf diesen Kreis übertragen wird, mit der Anordnung von King (Fig. 188) und nimmt hierbei an, daß für beide Kreise eine gleichwertige Energiemenge zur Aufwendung gelangt, so ergibt sich dies aus folgender Betrachtung. Wird in dem ersten Falle angenommen, daß der Generator einen Wechselstrom von 1000

Fig. 187.



effektiven Volt liefert und das Uebersetzungsverhältnis des Transformators mit Eisenkern 1 : 25 beträgt, so erhält man zwischen den Enden der Sekundären eine Spannung von 25 000 Volt, welche einer Funkenlänge von 15—20 mm entspricht. Ist die Kapazität des Kondensators, welcher in Abzweigung mit a und e verbunden ist, verhältnismäßig groß und die Selbstinduktion des Entladungskreises klein, so wird die Potentialdifferenz J zwischen a und e gleichwertig $V'\sqrt{L/C}$

Fig. 188.



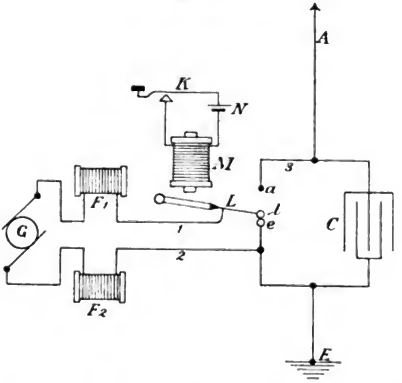
werden, und da in diesem Falle die Kapazität die Selbstinduktion überwiegt, auch die Transformation kleiner als J sein, was sich durch die Notwendigkeit der Verkürzung der Funkenstrecke kundgibt, um einen länger dauernden Funken zu erhalten. In keinem Falle, in welchem die Kapazitätsrückwirkung eines abgezweigten Kreises überwiegt, wird die Potentialdifferenz zwischen den Entladepunkten der an den Enden des Transformators erhaltenen Spannung gleich sein.

Digitized by Google

Wie Fig. 189 zeigt, ist keine fremde Kapazität mit dem positiven Drahte der Dynamo G verbunden, welche den induktiven Wert der Gleichstromwindungen und der Ergänzungsspule aufhebt, so daß die Rückwirkung der Kapazität so lange außer Betracht kommt, bis die Potentialdifferenz des unterbrochenen Kreises das Maximum erreicht, was dann eintritt, wenn der Widerstand der Funkenstrecke anscheinend geringer wird als jener zwischen E und e, und sohin eine Entladung stattfindet.

Wird der Widerstand der Funkenstrecke durch Näherung der Funkenkugeln verkleinert, so wird das Ladungspotential eher vergrößert

Fig. 189.



als verringert. In der Mehrzahl der Fälle, in welcher eine Funkenstrecke in Serie mit einem Kondensator durch die Initialspannung durchbrochen wird, erhält der Kondensator eine Spannung, welche zweimal so groß ist als die Ursprungsspannung, vorausgesetzt, daß die Energieübertragung von dem elektromagnetischen zu dem ektrostatischen Felde nicht durch eine vorhandene Impedanz gestört wird.

In dem Schwingungskreis von King erfolgt die Energieübertragung oder die Entladung der Funkenstrecke durch die Luft, welche eine vernachlässigbare Impedanz bietet, und ist infolgedessen das für die Ladung des Kondensators C erreichbare Potentiale gleich $2\,V'/\sqrt{LJ}$ der Ursprungsspannung des Generators. Mit einem Generator von 1000 Volt Spannung, welcher in einen Stromkreis mit 5000 Henry Selbstinduktion Gleichstrom sendet, ist sonach für die Ladung des

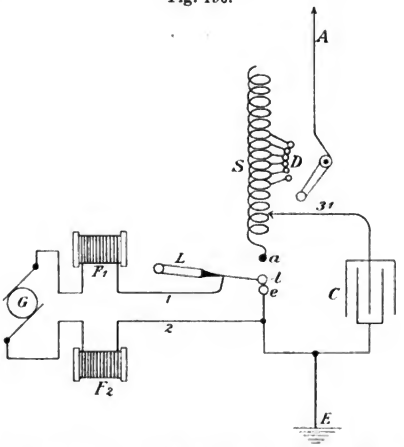
Digitized by Google

Kondensators eine Spannung von $1000 \times 70,71 \times 2 = 141420$ Volt erreichbar.

Nachdem nun die Intensität eines Wellenstromes in einem geschlossenen Kreise sowohl von der Kapazität des Kondensators, als auch von der Ladespannung abhängt, wird auch die dem Kondensator nach der Methode von King mittels Gleichstrom erteilte Ladung erheblich größer sein als jene, welche mit Wechselstrom bei gleicher Kapazität des Kondensators erreichbar ist.

Die von King gewählten Ausführungsformen des Senders zeigen die Fig. 189 bis 191 schematisch und stellt Fig. 189 die einfachste Anord-

Fig. 190.

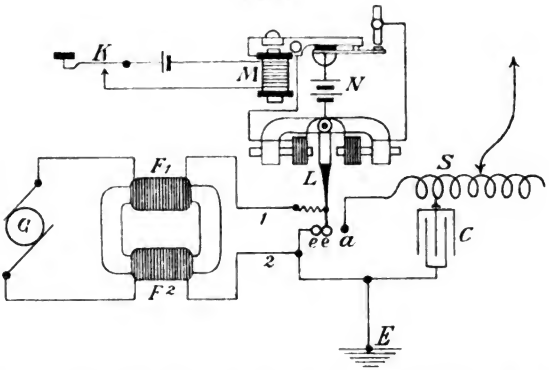


nung, Fig. 190 eine genauer abstimmbare und Fig. 191 die endgültig gewählte Form des Senders dar. In diesen Figuren bedeutet C einen Kondensator, welcher mit dem Leiter 3 oder der Selbstinduktionswindung S und über e mit dem Hebel L verbunden ist. L trägt eine Funkenkugel, welche sich zwischen den beiden Funkenkugeln a und e befindet. Diese Funkenkugel befindet sich sohin in Serie mit der Funkenstrecke a e. Es entsteht demnach an jener Seite, an welcher der Luftleiter A und die Erde E angehängt sind, ein geschlossener Schwingungskreis. Der Luftdraht ist an einem und die Erde am gegenüberliegenden Punkte mit dem Schwingungskreise verbunden. Die unbewegliche Funkenkugel a hat eine sehr kleine Oberfläche, die

Digitized by Google

untere unbewegliche Funkenkugel e ist bedeutend größer als die obere und an ihrer Oberseite für gewöhnlich abgeflacht. Die in elektrische Schwingungen umgesetzte Energie wird von dem Gleichstromgenerator G geliefert, dessen Enden mit den beiden Selbstinduktionsspulen F_1, F_2 und diese wieder mit den Leitern 1, 2 verbunden sind. Leitung 1 ist mit dem Hebel L und Leitung 2 mit der geerdeten Seite des Schwingungskreises verbunden. Der Ladehebel bildet gleichzeitig den Anker des Elektromagneten M und trägt an seinem freien Ende die Funkenkugel 1. Der Ladehebel L wird, sobald der Elektromagnet M durch die Batterie N bei Niederdrücken der Taste K erregt ist, von diesem angezogen, wodurch die Funkenkugel 1 mit a in Berührung

Fig. 191.



gelangt. Bei Unterbrechung des Stromes bringt entweder die eigene Schwere (Fig. 189 und 190) oder eine Feder (Fig. 191) den Hebel L in die Ruhelage zurück.

In der Ruhelage des Hebels L ist der Strom des Generators kurz geschlossen und kann daher zwischen a und e des Schwingungskreises keine Potentialdifferenz, somit auch keine Funkenentladung stattfinden und wird demnach auch der Luftdraht keine Energie in den Raum ausstrahlen.

Durch die beiden Selbstinduktionen F_1 und F_2 erhält der Dynamokreis ein großes elektromagnetisches Moment und es entsteht zwischen dem beweglichen Kontakte 1 und dem festen Kontakte e, wenn dieser den Luftspalt zwischen e und a rasch durchläuft, eine große Poten-

Digitized by Google

tialdifferenz. Die nutzbare Potentialdifferenz in dem Augenblicke, in welchem sich der Kontakt für die Erregung elektrischer Schwingungen in dem geschlossenen Kreise herstellt, wenn der Elektromagnet M erregt wird, ist viel größer als jene, welche von dem Generator in dem Augenblicke der Unterbrechung zwischen dem feststehenden und dem beweglichen Kontakte eingeliefert wurde. Die geringe Oberfläche der oberen Kugel gelangt hier zur Wirkung, indem sie die Entladung bei Rückgang des beweglichen Kontaktes fördert.

Bei ähnlich wie in Fig. 189 angeordneten Stromkreisen nimmt die für die Ausstrahlung nutzbare Energie die Form von Reflexen an, welche von der einen Seite des geschlossenen Schwingungskreises ausgehen. Die Zeit des Wechsels dieser auf den Wellenstrahler übertragenen Reflexionen wird bis zu einem gewissen Grade gleichförmig und identisch mit der Periode des geschlossenen Kreises, an welchen er gekoppelt ist, wenn nur diese Periode von bemerkbarer Stärke und Reinheit ist. Um eine Ungleichförmigkeit zwischen den Perioden des offenen und des geschlossenen Schwingungskreises auszuschließen, wurde zu Selbstinduktionsspulen F_1, F_2 (Fig. 191) mit gemeinsamem in sich geschlossenem Eisenkern die Zuflucht genommen.

Durch Einschalten einer veränderlichen Selbstinduktion in den offenen Stromkreis des Wellenstrahlers ist man in der Lage, die Wellenlängen innerhalb gewisser Grenzen zu verändern. Ist auf diese Weise die mögliche Periode dieses Stromkreises bestimmter ausgesprochen, so wird es wieder möglich, diese Eigenschwingungen durch Ausnützung der wechselseitigen Induktionswirkungen eines geschlossenen Resonatorkreises auf ihn zu verstärken.

Die zu dem senkrechten Wellenstrahler anschaltbare und veränderliche Selbstinduktion ist in Fig. 190 durch S dargestellt. Diese Abstimmungsspule ist in sechs Sektionen geteilt, die nach und nach durch den Schalter D in Reihe zum Wellenstrahler geschaltet werden können. Man erhält auf diese Weise sechs mögliche Wellenlängen, von welchen eine die größte Wirkung hat, wenn sie in Bezug auf die Schwingungsperiode mit dem Resonatorkreis im Einklange steht.

Ebenso wie der Sender weist auch der Empfänger eine Reihe interessanter und wichtiger Neuerungen auf. Es wird bei diesem Empfänger von der Aufnahme mittels Schreibapparat, Siphonrekorder oder Telephon Umgang genommen, weil ersterer zu langsam arbeitet, die Einrichtungen für den Siphonrekorder zu kompliziert und zu zart für den durchschnittlichen Telegraphisten sind und das Telephon kein sichtbares Zeichen hinterläßt.

Digitized by Google

Der Empfänger von King oder der Differentiator, wie er ihn benennt, vereint Leichtigkeit mit Festigkeit, ist einfach und leicht zu behandeln und arbeitet so rasch, daß er von selbst von Automaten gegebene Nachrichten aufnimmt. Er ist nebstbei für die geringsten Aenderungen, welche in dem Resonatorkreis durch die einlangenden Wellen hervorgerufen werden, empfindlich.

Um die außerordentliche Empfindlichkeit zu sichern, hängt der Wellenanzeiger für seine Betätigung von der Differentiation der effektiven Polstärke eines von zwei entgegengesetzten magnetischen Feldern ab, durch welche eine sehr kleine Winkelablenkung einer leichten Magnetnadel bewirkt wird. An der Magnetnadel ist ein Spiegelchen befestigt und das ganze System an einem äußerst dünnen Streifen von Phosphorbronze oder sonst einem ähnlichen nicht magnetischen Metall aufgehängt. In dieser Form ähnelt der Empfänger einem Oszillographen.

Um die erforderliche Stabilität zu erreichen, ist das schwingende System zwischen den Polen eines Dauermagneten angeordnet, wobei die Polarität durch einen die Windungen der Magnetschenkel durchfließenden Strom verstärkt wird. Dieser Strom wird von einer gesonderten Lokalbatterie geliefert.

Normal wirken die beiden Pole auf die Magnete gleichmäßig und in entgegengesetzter Richtung auf die Magnetnadel ein, so daß sie in Ruhe verbleibt. Erfolgt jedoch eine Störung dieses Gleichgewichtes durch einen Wellenstrom, welcher die beiden Windungen des Magnetes durchläuft, so bedingt diese eine augenblickliche Ablenkung der Nadel und des mit ihr verbundenen Spiegels.

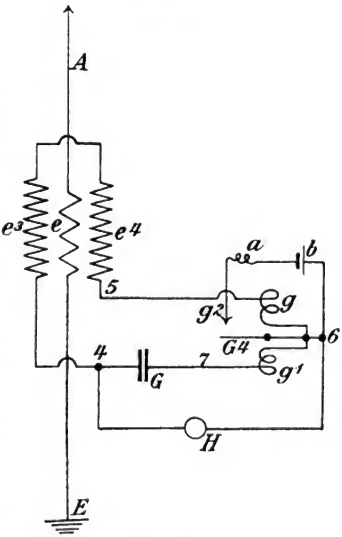
Fig. 192 stellt schematisch die Anordnung des Empfängers dar. Die in dem Luftleiter A induzierten Wellenströme werden durch die Erregerspule e auf die sekundären Windungen e^3 und e^4 des in sich geschlossenen Empfangskreises induktiv übertragen. An den Empfangskreis schließt sich bei den Punkten 4 und 6 der lokale Erregerkreis mit dem Erreger H an. Es bilden sonach 4 G g^1 6 und 4 e^3 e^4, g, 6 zwei zu dem Erreger H parallel geschaltete Kreise. Der Zweck des Erregers ist, den Punkten 4 und 6 eine geringe periodische elektromotorische Kraft aufzudrücken, bezw. an diesen Punkten eine kleine Potentialdifferenz zu erhalten. Die maximale elektromotorische Kraft des Erregerstromes soll geringer sein als die resultierende Potentialdifferenz zwischen 4 und 5, wenn auf e^3 und e^4 bei einer einlangenden Welle durch die Erregerspule e eine positive Energieübertragung stattfindet. Hierdurch soll zwischen 5 und einem

Digitized by Google

ähnlichen Punkte 7 des zweiten Zweigstromkreises, welcher den Kondensator G und das Solenoid g^1 einschließt, eine normale Phasendifferenz des Stromes von mindestens 90° entstehen, hervorgerufen durch die passend eingestellte Kapazität G in ihrer Beziehung zu den beiden Selbstinduktionen e^3 und e^4.

Der Wert der Selbstinduktion der beiden Solenoide g und g^1 soll im Vergleiche zur Wirkung der beiden Sekundären e^3 und e^4 und des Kondensators G vernachlässigbar sein, um nicht ernstliche Störungsquellen in den Kreis einzuführen.

Fig. 192.



Nimmt man die Phasendifferenz der beiden Ströme, welche jedes der beiden Solenoide durchläuft, mit 90° an, so wird das resultierende magnetische Feld des Solenoides g gleich Null, während das Feld von g^1 gleichzeitig den maximalen Wert erhält.

Haben die Solenoidwindungen die dargestellte Richtung, so wird das magnetische Feld von g^1 in dem Kapazitätszweige normal einen überwiegenden Einfluß auf die schwingende Armatur G^4 ausüben. Infolgedessen wird die Wirkung auf eine polarisierbare Masse, in diesem Falle die Armatur G^4, einzig und allein dem Solenoid g^1 zuzuschreiben sein, vorausgesetzt, daß der normale Phasenverschiebungswinkel 90° nicht überschreitet. Ueberschreitet der Phasenwinkel 90°, so findet eine verstärkte Ablenkung der Armatur von dem Hemmpunkte g^2 als Folge eines wechselseitigen Zusammenwirkens der beiden Felder von g und g^1 statt.

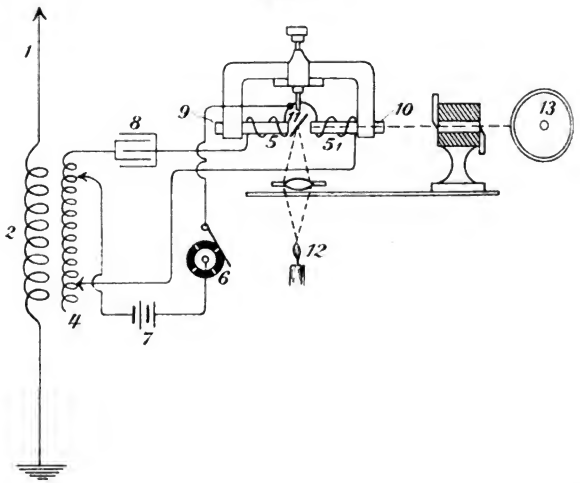
Unter normalen Bedingungen wirken die Sekundärspulen e^3 und e^4 einfach als Impedanzen, welche die Stromphasen verzögern und dadurch die Polstärke eines der beiden Solenoide verringern. Ist jedoch die Primäre e des Transformators unter dem Einflusse einlangender Wellen

Digitized by Google

erregt, so ist die Wirkung des induzierten Stromes in den beiden Solenoiden die, daß sie eine Orientierung der Armatur in entgegengesetzter Richtung bewirkt, wobei die resultierende magnetische Wirkung der beiden Solenoide auf die Masse der Armatur gleich der Summe der wirksamen Stärken der wechselseitig zusammenarbeitenden Felder g und g^1 ist.

Fig. 193 zeigt die Endform des differenzierenden Empfängers von King, in welcher 1 den Luftdraht in Verbindung mit der Pri-

Fig. 193.



mären 2 des zur Erde führenden Transformators, 4 die Sekundäre des Transformators, welche mit dem Solenoid 5 einen der beiden parallel verbundenen Zweigkreise, enthaltend den Unterbrecher 6 und zwei Elemente 7, darstellt. Diese Elemente versorgen diesen Kreis mit einem Strom von geringer elektromotorischer Kraft. In den zweiten Zweigkreis ist der Kondensator 8 eingeschaltet. 9 und 10 stellen die beiden einander entgegenwirkenden Magnetpole dar. 11 ist die Nadel mit dem Spiegel, welche ein konzentriertes Lichtbündel von der Lampe 12 auf den lichtempfindlichen Papierstreifen 13 wirft.

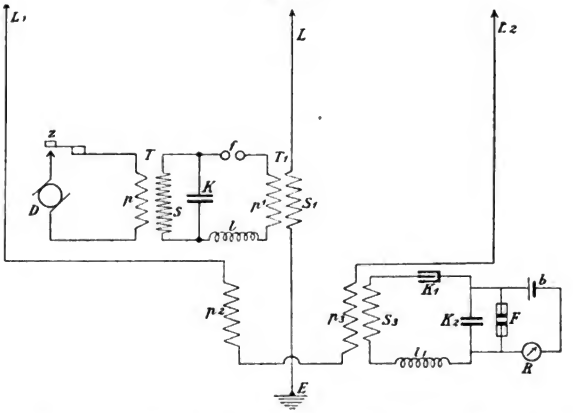
Neuerungen an dem Systeme der drahtlosen Tele-

Digitized by Google

graphie von Stone[1]). Stone, dessen System bereits in D. F. d. T. II, S. 108 beschrieben wurde, hat neuerdings eine Reihe von Patenten auf Verbesserungen genommen, die sich auf besondere Anordnungen beziehen und an und für sich weniger neue Erfindungen, denn glückliche Kombinierung bekannter Tatsachen darstellen.

Eines dieser Patente bezieht sich auf eine Einrichtung, mittels welcher die Entsendung und der Empfang von Nachrichten gleichzeitig erfolgen kann. Aufgebaut ist dieses Verfahren auf Grund fol-

Fig. 194.



gender Erwägung. Liegt ein lotrechter Leiter in einer Ebene, welche zu allen Punkten zweier ebenfalls lotrechter Leiter äquidistant ist, und werden in dem ersten Leiter elektrische Schwingungen erregt, so entstehen auch in den beiden anderen Leitern Schwingungen, welche jedoch in Amplitude und Phase vollkommen gleich sind. Ihre Einwirkung auf eine Empfangseinrichtung wird aber, weil einander entgegengesetzt, gleich Null werden.

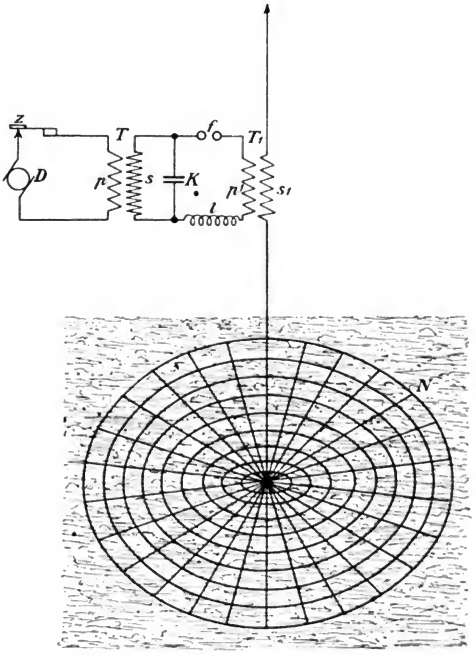
Der mittlere Leiter L (Fig. 194) ist der Sendeleiter, und L_1 L_2 sind die Empfangsleiter der für die Erfüllung der vorstehenden Bedingungen ersonnenen Anordnung. Der Empfänger wird hierdurch für die vom Sendeleiter ausgehenden Schwingungen unempfindlich, dagegen soll er auf alle von anderen nicht in der gleichen Ebene liegen-

[1]) E. W., Bd. 44, S. 382.

Digitized by Google

den Stationen anlangende Wellen ansprechen. Man sieht hier das Prinzip der Induktionswage auf die Wellentelegraphie übertragen. Inwieweit sich diese Art der Schaltung bewähren kann, hängt hier, da doch immer nur mit Stromdifferenzen gearbeitet wird, von der Empfindlichkeit des Wellenanzeigers ab. Stone verwendet hierfür

Fig. 195.



ein außerordentlich empfindliches Bolometer, welches Temperaturunterschiede von ein zehntausendstel Grad Fahrenheit noch mit Sicherheit anzeigen soll.

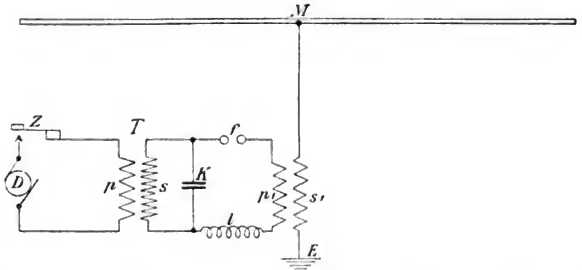
Das Bolometer ist hierbei in eine Art Wheatstonescher Brücke oder in eine Induktionswage eingeschaltet und stört die bei Einlangen elektrischer Wellen auftretende Erwärmung und damit verbundene Widerstandserhöhung das Gleichgewicht.

Digitized by Google

Ein zweites Patent bezieht sich auf eine Methode, die Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen durch den Sendeleiter zu verstärken. Stone bezieht sich zur Begründung der Wirksamkeit seiner Anordnung auf die von Blondel entwickelte Theorie der gleitenden Halbwellen (s. D. F. d. T. II, S. 7). Die Methode zur Verstärkung der Ausstrahlung beruht auf einer künstlichen Erhöhung der natürlichen Leitfähigkeit der Erde oder des die Basis des Sendedrahtes unmittelbar umgebenden Mediums und der Aufrechterhaltung dieser Oberfläche in einem stets gleichmäßig leitenden Zustande.

Eine der zu diesem Zwecke von dem Erfinder angegebenen Anordnungen besteht darin, daß ein Drahtnetz N in den Erdboden verlegt und mit dem Luftleiter verbunden wird (Fig. 195). Diese künstliche Erde soll mindestens einen Halbmesser haben, welchem ein Vierteil der angewendeten Wellenlänge entspricht. Diese Anordnung mag sich

Fig. 196.



namentlich für Landstationen, insbesondere für solche, deren Untergrund schlecht leitend ist, bewähren.

Fig. 196 stellt eine Anordnung dar, durch welche die hohen Luftdrähte entbehrlich gemacht werden sollen. Der eigentliche Strahlkreis besteht aus der Sekundären S^1 des Schwingungstransformators, welche einerseits zur Erde, anderseits zu dem Mittelpunkte einer großen Metallplatte M geführt wird. Der Durchmesser und dementsprechend der Umfang dieser am besten kreisförmig geformten Platte ist, mit dem Abstande von der Erde verglichen, verhältnismäßig sehr groß. Diese Metallplatte oder Kapazitätsfläche muß, um voll zur Wirkung zu gelangen, unbedingt parallel zur Erde sein.

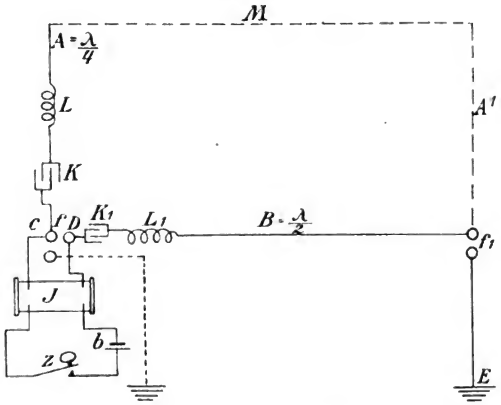
Eine eingehendere Betrachtung der beiden letzteren Anordnungen zeigt sofort, daß sie wesentlich Neues nicht bringen, sondern eigentlich

Digitized by Google

nur als Abänderungen bereits bekannter Einrichtungen anzusehen sind. Die Verwendung eines künstlichen Leiters, der bis mindestens ein Viertel der Wellenlänge längs der Erdoberfläche läuft, wurde bereits von Fessenden (s. D. F. d. T. S. 44) und die Verwendung einer großen Kapazitätsfläche an Stelle der Luftdrähte von Blondel (D. F. d. T. S. 100) angegeben.

Methoden von De Forest zur Lenkung der elektrischen Wellen in eine bestimmte Richtung[1]). Nach der

Fig. 197.



ersten Methode wird der Luftdraht nicht direkt über eine Funkenstrecke, wie dies durch die Punktlinie (Fig. 197) angedeutet ist, zur Erde geführt, sondern es steht die zweite Funkenkugel mit einem Kapazität und Selbstinduktion enthaltenden isolierten Drahte B in Verbindung, welcher in entsprechendem Abstande vom Erdboden wagrecht geführt wird. Dieser Draht liegt nun entweder unmittelbar oder über eine Funkenstrecke f_1 an Erde. Hierbei wird der Luftdraht A gleich ¼ Wellenlänge und der Draht B gleich ½ Wellenlänge gemacht. Nach De Forest werden die in A erzeugten Kraftlinien, in der von A und B gebildeten Ebene A B A_1 M zusammengedrängt und daher auch hauptsächlich in der Richtung dieser Ebene ausgestrahlt. Es erklärt sich dies dadurch, daß, bevor zwischen C und D der Funken-

[1]) Western Electrician, 16. Januar 1904.

Digitized by Google

strecke f ein Funke entstehen kann, A und B entgegengesetzt geladen werden müssen und sonach die bei dem Ausgleiche der Ladungen frei werdenden Kräfte vornehmlich in der durch A und B gegebenen Ebene wirken müssen. Die Elektrizität findet nach dem Ausgleiche über die Funkenstrecke ihren Weg über B zur Erde und pflanzt sich die hierbei entstehende elektromagnetische Welle gleichfalls in der Richtung von B fort. Bei der zweiten Methode wird der ausstrahlende Luftdraht von einer Reihe weiterer senkrechter Drähte, den sog. sekundären Luftdrähten umgeben, die, sofern man den Querschnitt betrachtet, in Form einer Parabel angeordnet sind, deren Brennpunkt der erste Leiter bildet. Das System der sekundären Luftdrähte soll als Reflektor für die elektrischen Wellen dienen und sie nach einer bestimmten Richtung lenken. Jeder der Sekundärdrähte ist durch einen wagrechten Draht entweder unmittelbar oder unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke mit der Erde und außerdem mit dem unteren Ende des Haupt- oder Primärdrahtes verbunden. Auch hier wird den wagrecht zur Erde führenden Drähten eine der halben Wellenlänge entsprechende Ausdehnung gegeben.

Wesentlich Neues bringen diese beiden Methoden nicht, da sie eigentlich nur kleine Abweichungen gegenüber den Anordnungen von Fessenden und von Braun[1]) aufweisen.

Pupins System einer abgestimmten drahtlosen Telegraphie[2]). Nach einem dem Erfinder gewährten amerikanischen Patente besteht der Empfänger aus einem Telephon mit einer Membrane, welche eine ganz bestimmte mechanische Schwingungsperiode hat, so daß sie durch magnetische Impulse von dieser Periode leicht zum Ansprechen gebracht wird und so einen Ton im Empfänger hervorbringt. Auf andere, dieser Bedingung nicht entsprechende Impulse spricht das Telephon nicht an. Der Sender ist nun so eingerichtet, daß die einzelnen Wellenimpulse in den ganz genauen dieser Periode entsprechenden Zwischenzeiten in den Raum entsendet werden. Zu diesem Zwecke wird die Geschwindigkeit eines Wechselstromgenerators, welcher als Energiequelle dient, so reguliert, daß sie mit der mechanischen Schwingungsperiode der Membrane des Empfängers übereinstimmt, und die Funkenstrecke so eingerichtet, daß die Funken nur dann überspringen, wenn die maximale Spannung jeder Periode des Wechselstromes erreicht ist. Ein Taster in dem Wechselstromkreis ermöglicht es, die Impulse nach Bedarf zu unterbrechen und so

[1]) S. d. F. d. T., S. 44 und F. d. T. II, S. 112.

[2]) E. W., Bd. 44, S. 387.

Digitized by Google

die Zeichen zu vermitteln. Nähere Einzelheiten über die Durchführung der Einrichtung sind bisher noch nicht bekannt.

Neuerungen von Kapitän Leonard D. Wildmann[1]). Dem Erfinder wurden zwei Patente auf Verbesserung der Einrichtungen für drahtlose Telegraphie erteilt. Das erste dieser Patente bezieht sich auf eine Methode zur Aenderung der Selbstinduktion von Luftdrähten ohne hierbei die Kapazitätswerte nennenswert zu beeinflussen. Der Zweck dieser Einrichtung ist, mehrfache Luftdrähte verwenden zu können, bei welchen jeder Draht nur Wellen der gleichen, vorher bestimmten Länge ausstrahlen kann.

Das zweite Patent betrifft den Schutz der Armaturen der Wechselstromgeneratoren, welche in Verbindung mit Transformatoren in den Sendestationen verwendet werden, indem die erzeugten hohen Spannungen das Bestreben haben, Wellen durch die Armaturwindungen zu senden und selbe durchzubrennen. Um dieses zu verhindern, verbindet der Erfinder die entgegengesetzten Seiten des primären Stromkreises, welcher die Primäre des Transformators, den Taster und den Generator einschließt, über sehr kleine Funkenstrecken mit der Erde. Diese Funkenstrecken sind nun auf ein bestimmtes Sicherheitspotential eingestellt, und springen sodann die Funken, sobald die Sicherheitsgrenze überschritten ist, zur Erde über, wodurch die Armaturwindungen und deren Isolation geschützt werden. Nähere Details über die praktische Ausgestaltung dieser Neuerungen sind ebenfalls noch nicht bekannt.

Synthetische drahtlose Telegraphie[2]). A. Frederick Collins kommt auf Grund eingehenden Studiums aller amerikanischen Patente über drahtlose Telegraphie zu dem Schlusse, daß jedes der in der Praxis mit Erfolg angewandten funkentelegraphischen Systeme auf einer Reihe von Patenten aufgebaut ist, die ihm die alleinige Verwertung der daselbst niedergelegten Neuerungen sichern. Wiewohl nun dies einerseits vom Konkurrenzstandpunkte ein Vorteil ist, bedeutet es doch wieder einen Nachteil, weil der betreffenden Unternehmung die Benutzung anderweitiger, gleichfalls durch Patente geschützter Neuerungen, welche sich gleichfalls bewährt haben, verwehrt ist. Hierdurch erfährt jedes System eine mehr oder minder einseitige Entwicklung und kann, wiewohl die Mittel bekannt, aber durch Patente geschützt, nicht auf den Höhepunkt der möglichen Leistungsfähigkeit gebracht werden.

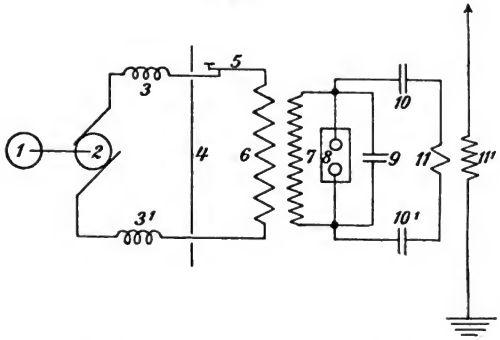
Würden die den Kernpunkt der einzelnen Systeme bildenden Details zusammengeschweißt werden, so erhielte man auf synthetischem

[1]) E. W., Bd. 44, S. 184.
[2]) E. W., Bd. 44, S. 474.

Digitized by Google

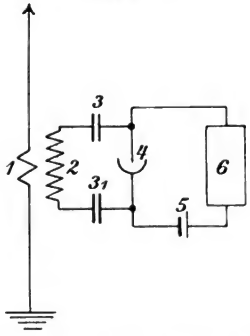
Wege ein System der drahtlosen Telegraphie, welches in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Sicherheit alle anderen Systeme überflügeln müßte. Der Verfasser unterzog sich nun der Aufgabe, aus den zahlreichen indi-

Fig. 198.



viduellen Typen, welche ihm die besten in ihrer Art erschienen, jene Teile auszuwählen und zu einem allgemeinen Systeme, d. i. einer synthetischen Anordnung zusammenzustellen, durch welche seiner Ansicht

Fig. 199.



nach die folgenden Bedingungen erfüllt werden müssen: 1. Erreichung einer maximalen Entfernung mit einem Minimum von Energie, 2. Genauigkeit, 3. Geschwindigkeit des Arbeitens, 4. Sicherheit, 5. Einfachheit der Regulierung und 6. Möglichkeit der Herstellung einheitlicher Apparattypen.

Digitized by Google

Nach eingehender Begründung der Vorteile der einzelnen Einrichtungen, auf welche hier nicht näher eingegangen werden soll, befürwortet er die in Fig. 198 und 199 in schematischer Form dargestellten Sende- und Empfangseinrichtung zur Annahme. In diesen stellt für den Sender 1. einen Motor, 2. einen Wechselstromgenerator (nach Fleming), 3. Drosselspulen (De Forest), 4. einen Schutzschirm aus Metallblech, 5. einen Morsetaster (De Forest), 6. und 7. einen Transformator (Fleming), 8. eine Funkenstrecke in komprimierter Luft (Fessenden), 9. einen Oelkondensator, 10. einen regulierbaren Kondensator (Braun) und 11. und 11′. einen Schwingungstransformator (Braun) und für den Empfänger 1. und 2. einen Schwingungstransformator (Braun), 3., 3_1 regulierbare Kondensatoren (Braun), 4. einen Flüssigkeitsbarretter (Fessenden), 5. ein Trockenelement und 6. einen Siphonrekorder (Lodge) dar.

Durch die Vereinigung dieser verschiedenen Einrichtungen zu einem neuen System, welches die wesentlichen Erfindungen aller Arbeiter auf dem einschlägigen Gebiete umfaßt, dürfte sich das erstrebte Ziel erreichen lassen, doch ist es Bedingung hierfür, daß sich die verschiedenen Gesellschaften hierbei zu einer Art „Trust“ vereinigen.

Die diesem Vorschlage zu Grunde liegende Idee ist nicht im vornhinein abzuweisen, wenn man sich auch mit der Art und Weise der Zusammenstellung der Einrichtung nicht in allem einverstanden erklären kann. Ein solcher „Trust“ dürfte jedoch nur ein technischer sein und zu keinem kommerziellen ausarten, da hierdurch Verbesserungen, und solche sind nicht nur nicht ausgeschlossen, sondern im Gegenteile sehr wahrscheinlich, baldigst ein Riegel vorgeschoben würde, indem alle außer der Verbindung stehenden Erfinder der Uebermacht des Kapitals schutzlos preisgegeben wären.

H. Vergleichende Zusammenstellung der verschiedenen Anordnungen für drahtlose Telegraphie [1]).

Unterzieht man, ohne auf die Einzelheiten der verschiedenen Systeme der drahtlosen Telegraphie einzugehen, die Einrichtungen nur in Bezug auf die allgemeinen Grundlagen einem Vergleiche, so ergibt sich, daß im großen und ganzen eigentlich nur wenige Systeme bestehen, was ja erklärlich ist, da die maßgebenden Grundgesetze, die jetzt zum großen Teile voll erkannt sind, sozusagen zu einer prinzipiell einheitlichen Ausgestaltung führen.

[1]) Unter Benutzung eines Aufsatzes von Capitaine Ferriée; E. E., Bd. 38 Nr. 11.

Digitized by Google

Es sollen im nachstehenden sohin in Form einer kurzen vergleichenden Zusammenstellung die verschiedenen Anordnungen nur insoweit besprochen werden, als es sich um die allgemeinen Grundlagen des Aufbaues handelt. Diese Grundlagen sind allerdings bereits in den vorhergegangenen Beschreibungen von Fall zu Fall vorgeführt, doch fehlt in diesen die Nebeneinanderstellung, so daß diese Wiederholung gerechtfertigt erscheint.

Da die Entsendung der Signale von deren Empfang und umgekehrt gänzlich unabhängig ist, lassen sich die gefundenen Lösungen für das eine wie für das andere gesondert behandeln.

Auf die Einrichtungen für die Entsendung übergehend, ist vorerst zu bemerken, daß für die Erzeugung schneller elektrischer Schwingungen dermalen nur ein Mittel bekannt ist und zwar die Funkenentladung. Die auf diese Weise erzeugten elektrischen Schwingungen dämpfen sich mehr oder minder rasch ab, wogegen für die Erzielung einer guten Resonanz möglichst ungedämpfte Schwingungen erzielt werden sollen. Trotz der vielseitigen Bemühungen ist es jedoch bisher nicht gelungen, diese Aufgabe in einer praktisch brauchbaren Weise zu lösen, so daß eben dermalen noch immer mit mehr oder minder gedämpften Schwingungen gearbeitet werden muß, sohin in Bezug auf die Erregung der Schwingungen bei allen bekannten in praktischer Anwendung befindlichen Systemen keine prinzipiellen Unterschiede zu verzeichnen sind.

Es kann sich daher nur darum handeln, in welcher Weise diese Schwingungen auf das Sendegebilde, welches die ihm auf diese Weise zugeführte Energie in Form elektromagnetischer Wellen ausstrahlt, übertragen werden. Diesbezüglich sind nun drei verschiedene Formen der Erregung des Luftdrahtes zu verzeichnen und zwar:

die direkte Erregung;

die indirekte Erregung durch Induktion;

die indirekte Erregung durch Abzweigung (aufgezwungene Schwingungen).

1. Direkte Erregung. Bei der direkten Erregung ist der Luftdraht L (Fig. 200) als der eine Belag eines Kondensators zu betrachten, dessen zweiten Belag die Erde E bildet. Die Ladung dieses Kondensators erfolgt durch Verbindung dieser beiden Belegungen mit einer Energiequelle von hohem Potential J unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke f zwischen diesen beiden Belegungen. Es ist dies die ursprüngliche Anordnung von Marconi.

Die durch die Funkenentladung erzeugten Schwingungen sind

Digitized by Google

sehr stark gedämpft und ist die Energie der ersten Schwingung gegenüber der folgenden um so vieles größer, daß sie in Wirklichkeit einzig und allein zur Wirkung gelangt, und ist sonach die Gesamtwirkung mehr einem Schusse zu vergleichen.

Als Energiequelle dient zumeist ein Ruhmkorff, da die Sekundäre eines die Spannung erhöhenden Transformators für Wechselstrom nicht verwendet werden kann, indem die Spannung des Ladestromes bei großer Stromstärke trotz der raschen Energieausstrahlung eine begrenzte ist und sich wegen der geringen Kapazität des durch das Sendegebilde und Erde dargestellten Kondensators über die Funken-

Fig. 200.

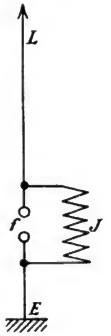
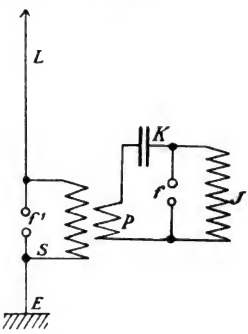


Fig. 201.



strecke an Stelle der disruptiven Entladung leicht ein Lichtbogen bildet.

Die Erregung des Sendegebildes läßt sich jedoch durch Transformation eines Wechselstromes von großer Spannung und geringer Stromstärke in einen solchen von geringer Spannung und großer Stromstärke bewerkstelligen.

Zu diesem Zwecke schaltet man, wie dies Fig. 201 zeigt, in den Stromkreis der Sekundären J eines gewöhnlichen Oszillators eine der Frequenz des Wechselstromes entsprechende Kapazität K, sowie die Primäre P eines Teslatransformators und zweigt an geeigneter Stelle eine Funkenstrecke f ab. Die Sekundäre S des Teslatransformators ist einesteils mit dem Luftdraht L, andernteils mit der Erde E verbunden und zwischen beiden eine Funkenstrecke f^1 angeordnet. Die Windungszahl in P und S wird so bemessen, daß bei f^1 die kräftigsten Funken

Digitized by Google

überspringen. Diese Anordnung kann auch nach der Oudinschen Schaltung (Fig. 202) getroffen werden, die wohl keiner näheren Erklärung bedarf. In beiden Fällen wird eine kräftige Energieausstrahlung erzielt, aber die Schwingungen dämpfen sich sehr rasch ab. Daß hier eine direkte und keine indirekte Erregung vorliegt, ergibt sich daraus, daß die Erregung der Schwingungen sich im Sendekreis selbst vollzieht, indem der bei f^1 überspringende Funke die Schwingungen hervorruft. In diesem Falle schwingt der Luftdraht immer in einer Viertelwellenlänge und entsteht sohin an der Erdungsstelle ein Bauch der Stromstärke und ein Knoten der Spannung und um-

Fig. 202.

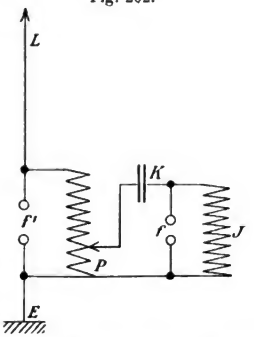
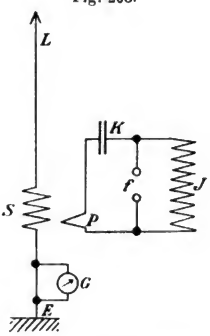


Fig. 203.



gekehrt an der Spitze ein Bauch der Spannung und ein Knoten der Intensität.

2. Indirekte Erregung. Bei der indirekten Erregung werden die Schwingungen in einem in sich geschlossenen Kreise erregt und auf den Sendedraht induktiv übertragen.

Bei Verwendung eines Induktoriums als Energiequelle von hoher Spannung wird, wie dies Fig. 203 darstellt, der Erregerkreis in Abzweigung zur Sekundären des Induktoriums J geschaltet und aus der Funkenstrecke f einer Kapazität K und der Primären p eines Teslatransformators zusammengesetzt. Die Sekundäre S dieses Transformators ist an geeigneter Stelle in den Luftdraht L, welcher geerdet ist, eingesetzt (Anordnung von Braun).

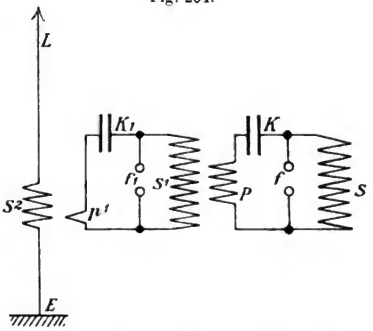
Um einen guten Wirkungsgrad zu erzielen, muß die Schwingungsperiode des Erregerkreises mit jener des Sendekreises in Uebereinstimmung gebracht werden. Man gelangt hier in der folgenden

Digitized by Google

Weise zum Ziele. Zwischen der Sekundären S und der Erde E des Luftdrahtes wird ein Hitzdrahtampèremeter G eingeschaltet. Nun wird fortschreitend entweder die Kapazität oder die Selbstinduktion eines der beiden Kreise so lange geändert, bis man einen maximalen Ausschlag am Hitzdrahtinstrument erhält. Ist dieser Punkt gefunden, so ist auch die Uebereinstimmung hergestellt.

Die Erfahrung hat hier gezeigt, daß es von Vorteil ist, nur eine sehr kleine Anzahl von Windungen für die Primäre und Sekundäre des Teslatransformators zu nehmen, und zwar umsoweniger, je geringer die Höhe des Luftdrahtes ist. Um die beiden Kreise in Ueber-

Fig. 204.



einstimmung zu bringen, empfiehlt es sich, vorerst durch Aenderung der Kapazität des Schwingungskreises eine annähernde Uebereinstimmung zu erzielen und sodann die genaue Uebereinstimmung durch entsprechende Aenderung der Windungszahlen der Sekundären S herbeizuführen.

Die auf diese Weise entsendeten Schwingungen sind weit weniger gedämpft als jene der direkten Erregung.

Die gleiche Anordnung gelangt ebenfalls zur Anwendung, wenn als Erregerquelle statt eines Induktoriums ein Wechselstromtransformator benützt wird. In diesem Falle ist aber, wie dies Marconi anwendet, eine doppelte Transformation (Fig. 204) zu empfehlen. Die Energie der Sekundären S des Transformators wird zum Laden eines Kondensators K von großer Kapazität, dessen Wert so bestimmt wird, daß der Kreis in Resonanz mit S ist, ausgenützt. Dieser Kondensator entladet sich über die Funkenstrecke f und ruft in dem

Digitized by Google

ganzen Kreise Schwingungen hervor, die durch die Primäre p des Teslatransformators auf die Sekundäre S^1 des zweiten in ganz ähnlicher Weise ausgestatteten Schwingungskreises übertragen werden. Der Kondensator K^1, dessen Kapazität so gewählt wird, daß die in diesem Kreise erregten Schwingungen sich mit der Eigenschwingungsperiode des Luftdrahtes in Uebereinstimmung befinden, entladet sich über die Funkenstrecke f^1. Die hierdurch erregten Schwingungen werden mittels des zweiten Teslatransformators auf den Luftdraht übertragen. Die Regulierung dieses Kreises erfolgt in der Weise, daß durch entsprechende Aenderung der Windungszahlen von pS^1 in

Fig. 205.

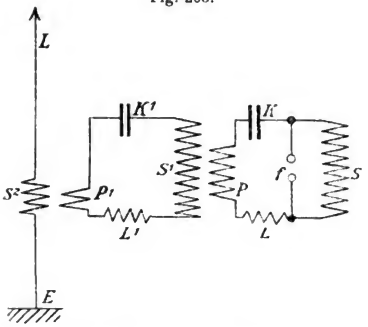
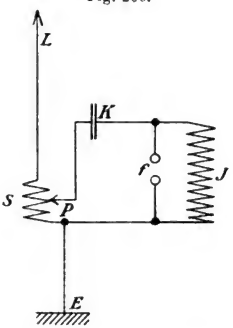


Fig. 206.



der Funkenstrecke f^1 ein Funke von maximaler Intensität erhalten wird. Die auf diese Weise erhaltenen Schwingungen sind sehr wenig gedämpft.

Auch eine drei- und mehrfache Transformation wurde, um reine Schwingungen zu erhalten, angewendet. In diesem Falle werden jedoch die Schwingungen (Fig. 205) nur in einem Kreise erzeugt und ebenso wie dies bei der Uebertragung auf den Luftdraht geschieht, von Kreis zu Kreis übertragen (Stone).

Bei allen diesen Einrichtungen für induktive Uebertragung läßt sich der Wirkungsgrad erhöhen, wenn man mehrere Teslatransformatoren in einem Schwingungskreis parallel schaltet und statt eines Kondensators mehrere Kondensatoren gleicher Kapazität verwendet, deren je einer auf die Primäre eines der Transformatoren wirkt.

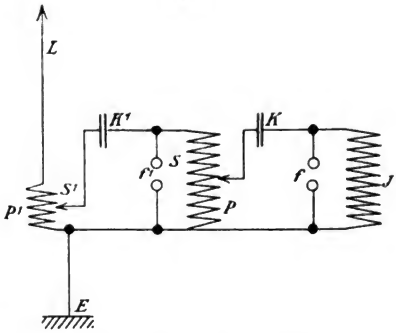
Die Schwingungsperiode des Luftdrahtes ist im Falle der induktiven Uebertragung durch die Gesamtlänge des Drahtes von der Spitze

Digitized by Google

bis zur Erde einschließlich der Windungen der Sekundären des Transformators gegeben. Die Gesamtheit des Drahtes schwingt in einer Viertelwellenlänge, so daß sich auch hier am Boden ein Bauch der Stromstärke und an der Spitze ein solcher der Spannung ausbildet. Infolgedessen soll die Sekundäre so viel als möglich an den unteren Teil des Luftdrahtes angeschlossen werden, da die Versuche gezeigt haben, daß es für die Ausstrahlung von Vorteil ist, wenn dem Luftdrahte am oberen Teile die größtmöglichste Strommenge zugeführt wird.

3. Indirekte Erregung durch Abzweigung. Bei dieser Art der Erregung wird der Luftdraht ebenfalls geerdet und gleich-

Fig. 207.



zeitig in Abzweigung mit einem in sich geschlossenen Schwingungskreise verbunden. Die Schaltung kann hierbei sowohl nach der in Fig. 206 als auch nach der in Fig. 207 gegebenen Anordnung erfolgen, wobei die Anordnung Fig. 206 die Analogie für die induktive Uebertragung nach Fig. 203 und die der Fig. 207 die Analogie nach Fig. 204 darstellt.

Die indirekte Erregung hat ebenso wie die induktive Erregung den Nachteil, daß in dem Luftdrahte zweierlei Schwingungen von verschiedener Periode entstehen, deren eine durch den eigentlichen Schwingungskreis aufgezwungen wird, wogegen die zweite der Eigenschwingungsperiode des eigentlichen Sendekreises entspricht. Diese beiden Perioden sind sehr stark unterschieden, so daß man den Empfänger nur auf eine dieser Schwingungen abzustimmen vermag, sohin die durch die zweite Schwingung ausgestrahlte Energie verloren geht.

Digitized by Google

Allerdings ließe sich dies durch Anordnung einer regulierbaren Kapazität im Sendekreis, wie dies von Lodge und Muirhead durchgeführt wurde, beseitigen, wodurch die Eigenschwingungsperiode des Sendedrahtes mit jener der aufgezwungenen Schwingung in Einklang gebracht werden kann, doch hat dies bis jetzt keine praktische Verwertung gefunden, da bei der induktiven Uebertragung dieser Nachteil weniger in Betracht kommt, diese sohin vorgezogen wird.

Es läßt sich auch bei der induktiven Erregung durch Abzweigung die Kapazität unterteilen, indem man jeden Teil auf eine der Uebertragungswindungen wirken läßt, die dann in Reihe geschaltet werden. Die mit diesen Arten der Schaltungen erhaltenen Schwingungen sind ebenfalls schwach gedämpfte Schwingungen.

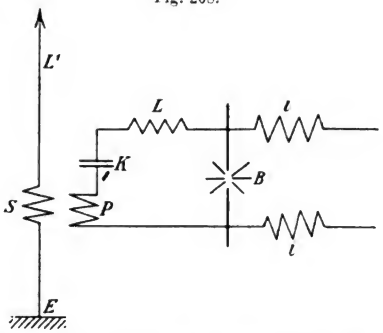
Ungedämpfte Schwingungen. Alle auf den vorbeschriebenen Wegen erreichbaren Schwingungen sind mehr oder minder gedämpft. Die Bedingungen für eine vollkommene Resonanz sind hierdurch nicht erfüllt und fehlte es daher nicht an Bemühungen, die Dämpfung vollkommen zu unterdrücken, und zwar in der Weise, daß man an Stelle einer Funkenstrecke einen elektrischen Lichtbogen, vornehmlich den der Quecksilberdampflampe von Cooper Hewitt, zu benützen suchte, um damit eine dem singenden Flammenbogen ähnliche Erscheinung, aber von einem vielfach kleineren Schwingungsbogen zu erreichen. Diesbezügliche Versuche wurden von Reich und Simon, Dudell, de Valbreuze, sowie von Hewitt durchgeführt, doch konnte ein praktisches Ergebnis bisher noch nicht erzielt werden. Man erhält zwar auf diese Weise vollkommen gleichmäßige Schwingungen von einer ausgesprochen gleichen Periode, allein die Energie, welche hier zur Anwendung gebracht werden kann, ist eng begrenzt, da sowohl die Ladungsspannung als auch die Kapazität nur sehr klein sein können. Die eine ist durch die Spannung des Lichtbogens, die andere durch die Notwendigkeit, die Resonanz mit dem Luftdrahte zu erzielen, bestimmt.

Die Uebertragung auf den Luftdraht kann in einer der drei vorgehend besprochenen Weisen erfolgen. Fig. 208 gibt ein Beispiel der Anordnung mit induktiver Uebertragung auf den Luftdraht. Der eigentliche Schwingungskreis wird durch den Lichtbogen B, die Selbstinduktion L, die Kapazität K und die Primäre P eines Teslatransformators gebildet. Der Lichtbogen wird durch Gleichstrom, welcher die beiden Selbstinduktionen i und i^1 durchfließt, aufrecht erhalten. Die Sekundäre S des Transformators steht mit dem Luftdrahte L^1 und der Erde E in Verbindung.

Digitized by Google

Hiermit erscheinen die verschiedenen Methoden zur Erregung von Schwingungen und Entsendung von elektromagnetischen Wellen, insofern es sich um deren prinzipielle Grundlagen, ohne auf die einzelnen Details der Ausgestaltung einzugehen, handelt, ausreichend gekennzeichnet. Die Art und Weise, wie Anders Bull die Geheimhaltung der Nachrichten durch mechanische Einrichtungen zu sichern bestrebt ist, hat eigentlich mit der Art und Weise der Erzeugung und Entsendung elektromagnetischer Wellen nichts zu schaffen und kann somit, trotz der ingeniösen Lösung, hier umsomehr übergangen werden, als die Einzelheiten dieser Einrichtungen in „Die Fortschritte auf dem

Fig. 208.



Gebiete der drahtlosen Telegraphie" Bd. V d. S. bereits eingehend beschrieben wurden.

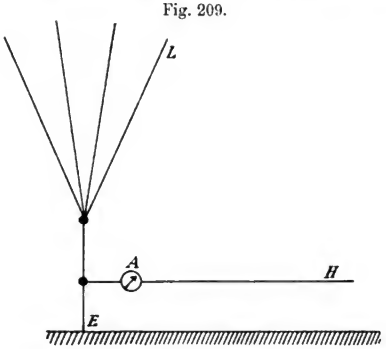
Empfangseinrichtungen. Der Empfang, der von irgend einer Stelle mit irgendwelchen der beschriebenen Einrichtungen entsendeten Signale, erfolgt gleichfalls durch einen Luftdraht (Empfangsdraht), dessen Eigenschwingungsperiode möglichst mit der Schwingungsperiode der einlangenden Wellen in Einklang zu bringen ist. Die einfachste Methode ist, hier zwei vollkommen gleichartige Drähte für die Entsendung und den Empfang zu verwenden. Da aber diese Gleichartigkeit aus praktischen Gründen nicht immer erreicht werden kann, ist man gezwungen, die Form der einen entsprechend zu ändern, um die gleiche Periode zu erhalten. Um die Periode eines Luftdrahtes zu messen, genügt es, diesen Draht durch direkte Erregung in kräftiges elektrisches Schwingen zu versetzen und die Frequenz der auf diese Weise erhaltenen Schwingungen zu bestimmen. Diese Messung kann

Digitized by Google

auf verschiedene Weise entweder mittelbar oder unmittelbar durchgeführt werden. Die einfachste besteht darin, daß man (Fig. 209) nahe am Boden von dem Luftdrahte einen horizontalen Draht so abzweigt, daß er sich in immer gleichem Abstande vom Boden befindet. In diesen Draht wird ein Hitzdrahtampèremeter eingeschaltet. Die Länge dieses Abzweigdrahtes wird nun gleichmäßig fortschreitend so lange verändert, bis das Hitzdrahtinstrument einen maximalen Ausschlag zeigt. Die Länge des Drahtes ist dann einem Viertel Länge der der Eigenschwingungsperiode des Luftdrahtes entsprechenden Wellen.

Um die beiden Luftdrähte in Uebereinstimmung oder Resonanz zu bringen, wird die Form und Länge der Drähte so lange verändert,

Fig. 209.



bis deren Eigenschwingung einem Viertel der gesuchten Wellenlänge entspricht.

Für die Anzeige der einlangenden Wellen bezw. des Vorhandenseins von elektrischen Schwingungen im Luftdrahte können die verschiedenartigsten Wellenanzeiger zur Anwendung gelangen, doch wird an dieser Stelle, weil anderweitig schon erläutert, auf ein näheres Eingehen verzichtet und nur deren allgemeines Verhalten kurz gekennzeichnet.

Die eine Art der Wellenanzeiger spricht nur auf stoßweise Aenderungen der Energie an, es wirkt sonach nur ein Spannungsstoß auf sie ein. Es sind dies die gewöhnlichen Fritter. Bei ihnen gelangt nur der erste Wellenstoß zur Wirkung, während die folgenden Wellenstöße ohne Wirkung verbleiben. Sonach eignen sich diese Wellenanzeiger nur wenig für eine abgestimmte Telegraphie.

Digitized by Google

Die sogen. integrierenden Wellenanzeiger sind hingegen nur für die Intensität der Schwingungen empfindlich. In ihnen summieren sich die Wirkungen der einzelnen Schwingungen und eignen sie sich daher für die abgestimmte Funkentelegraphie umsomehr viel besser, als sie auch viel empfindlicher sind als die mit dem Namen „Fritter" belegten Wellenanzeiger. Zu diesen Wellenanzeigern sind die bolometrischen, elektrolytischen und auf Hysteresiswirkung beruhenden Wellenanzeiger zu rechnen. Die Anordnungen, bei welchen Fritter als Wellenanzeiger zur Anwendung gelangen können, lassen sich in vier Klassen einteilen und zwar

1. Direkte Einwirkung,
2. Indirekte Einwirkung durch Induktion,
3. Indirekte Einwirkung durch Abzweigung,
4. Gemischte indirekte Einwirkung (Induktion und Abzweigung kombiniert).

Direkte Einwirkung. Bei der direkten Einwirkung ist der Fritter F (Fig. 210) direkt zwischen den Luftdraht L und die Erde E geschaltet. Der Empfangskreis mit der Lokalbatterie b, dem Relais R

Fig. 210.

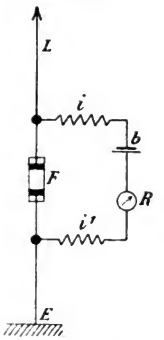
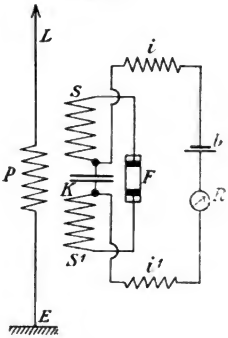


Fig. 211.



und den beiden induktiven Vorschaltwiderständen i und i^1 befindet sich in Abzweigung zum Fritter. Der Luftdraht läßt sich bei dieser Anordnung als vollkommen isoliert ansehen, da er auf der einen Seite in den Fritter endet, welcher im nichterregten Zustand praktisch einen unendlichen Widerstand besitzt und auf der anderen Seite die induktiven Vorschaltwiderstände i, i^1 infolge ihrer Impedanz die Schwin-

Digitized by Google

gungen vollkommen absperren. Der Luftdraht schwingt demnach in einer halben Wellenlänge und tritt das Maximum der Spannung an seinen beiden Enden auf, d. s. in diesem Falle die Spitze und der Verbindungspunkt mit dem Fritter. Der Fritter wird durch die an dessen Enden auftretenden Spannungsänderungen leitend und ist demnach am richtigen Platze. Um jedoch in diesem Falle ein Maximum der Wirkung zu erhalten, muß der Empfangsdraht die doppelte Eigenschwingungsperiode wie der Sendedraht haben, da letzterer nur in einer Viertelwellenlänge schwingt. Dies ist nun insofern ein Nachteil, als jede Station zwei verschiedene Luftdrähte haben muß, deren einer für die Sendung, der andere für den Empfang dient.

Indirekte Einwirkung durch Induktion. Bei Anwendung dieses Prinzipes werden die durch die Welleneinwirkung im Empfangsdraht erregten Schwingungen in der Weise transformiert, daß die zwei Elektroden des Fritters erhöhten Spannungen entgegengesetzten Sinnes unterworfen werden. Die Primäre des Transformators wird demnach zwischen Luftdraht und Erde und zwar möglichst nahe zu letzterer geschaltet, weil dies der Punkt ist, an welchem die Schwingungen das Maximum ihrer Intensität haben.

Eine Lösung dieser Aufgabe besteht darin, die Sekundäre des Transformators in zwei gleiche Hälften S S^1 (Fig. 211) zu teilen, deren innere Enden mit dem Kondensator K zu verbinden und deren äußere Enden zu den beiden Elektroden des Fritters F zu führen. Der eigentliche Empfangskreis mit der Batterie b, dem Relais R und den induktiven Vorschaltwiderständen i, i^1 zweigt von den inneren Enden der geteilten Sekundärspule ab. Es entsteht auf diese Weise ein Hertzscher Resonator, dessen Unterbrechungsstelle durch den Fritter ersetzt wird. Sobald dieser Resonator, der durch die Verbindung F S K S^1 hergestellt ist, durch Induktion von der Primären P des Transformators in Schwingungen versetzt wird, erhält die halbe stationäre Welle, welche hierdurch entsteht, zwei gleiche Spannungsmaxima entgegengesetzten Vorzeichens an den beiden Elektroden des Fritters. Um den besten Wirkungsgrad zu erzielen, muß dieser Resonator mit dem Luftdrahte, welcher vorher mit jenem der Sendestation in Uebereinstimmung gebracht wurde, abgestimmt werden, wobei es genügt, den beiden Sekundärspulen S S^1 eine entsprechende Länge zu geben.

Aber auch der Kondensator K kann, wie dies die Anordnung (Fig. 212) darstellt, entbehrt werden. Der Fritter ist in diesem Falle der Einwirkung von zwei getrennten Schwingungskreisen F S i und F S^1 i^1 ausgesetzt, deren jeder an dem einen Ende von F nach der

Digitized by Google

vorstehend gegebenen Erklärung isoliert ist. Auch an dem anderen Ende ist jeder dieser Schwingungskreise durch die beiden Selbstinduktionen i und i^1 als abgeschlossen zu betrachten. Die durch die Primäre P in einer der Sekundären erregten Schwingungen reflektieren sich bei F und es bildet sich dort ein Bauch der Spannung aus. Der Fritter ist sonach an seinen Enden von zwei gleichen Spannungen, jedoch entgegengesetzten Vorzeichens getroffen, was durch die Windungsrichtung der beiden Sekundärspulen bewirkt wird.

Die Regulierung der Länge der beiden Spulen S und S^1 ist in diesem Falle nur von einer mehr oder minder untergeordneten Bedeutung, da, wie das Experiment erwiesen hat, ein und derselbe Trans-

Fig. 212.

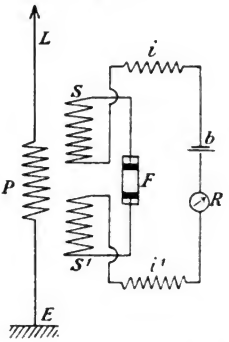
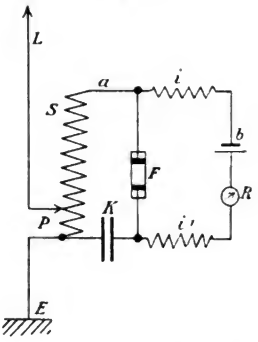


Fig. 213.



formator für Wellenlängen von 100 bis 1000 m fast gleich gute Wirkungen aufweist.

Es ist aus diesem Grunde beinahe unmöglich, die Empfangsstelle gegen die Einwirkung von Wellen zu schützen, welche nicht für sie bestimmt sind.

Indirekte Wirkung durch Abzweigung. Jeder Leiter, welcher von einem schwingenden Kreise abzweigt, wird gleichzeitig der Sitz einer schwingenden Bewegung, deren Amplitude dann ein Maximum wird, wenn die Eigenschwingungsperiode dieses Leiters mit der des schwingenden Kreises übereinstimmt.

In Anwendung dieser Tatsache für den Empfang von Signalen durch elektrische Wellen schaltet man in den Luftdraht L (Fig. 213) eine Windung P eines Solenoides S ein, dessen freies Ende mit der

Digitized by Google

einen Elektrode des Fritters in Verbindung steht, während die andere Elektrode über einen Kondensator K mit der Erde verbunden ist. Sobald der Luftdraht unter der Einwirkung elektromagnetischer Wellen in Schwingungen gerät, nimmt auch das in Abzweigung angeschaltete Solenoid an diesen Schwingungen teil. Um nun eine maximale Einwirkung auf den Fritter zu erreichen, ist es notwendig, daß die stationäre Welle, welche zwischen S und i entsteht, einen Spannungsbauch bei a aufweist, zu welchem Zwecke die Elemente der Spule S mit Sorgfalt gewählt werden müssen.

Statt nur eine Elektrode des Fritters der durch die Schwingungen erzeugten Spannung auszusetzen, kann man die in Fig. 214 dargestellte

Fig. 214.

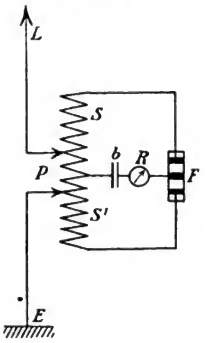
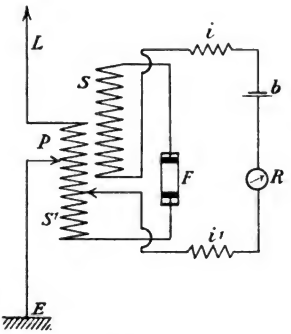


Fig. 215.



Anordnung treffen, durch welche die Einwirkung auf den Fritter eine symmetrische wird und bei welcher von der Verwendung eines Kondensators Umgang genommen werden kann. Der Fritter F hat in diesem Falle drei Elektroden, deren beide äußere an die Enden des Solenoides angeschlossen werden, während die mittlere über das Empfangsrelais R und die Ortsbatterie b mit dem Mittelpunkte dieses Solenoides in Verbindung steht.

Bei allen diesen Empfangsschaltungen mit Abzweigung liegt die Notwendigkeit einer genauen Regulierung auf Uebereinstimmung vor, um die beste Wirkung zu erreichen, doch scheint hier diese Wirkung nicht so scharf ausgesprochen zu sein wie bei der induktiven Uebertragung.

Gemischte indirekte Wirkung (Induktion und Ab-

Digitized by Google

zweigung kombiniert). Die Vorteile der induktiven und der durch Anschaltung im Nebenschlusse erzielbaren indirekten Uebertragung lassen sich auch vereinigen und gibt es hierfür zwei verschiedene Wege. Die diesbezüglichen Anordnungen sind in den Fig. 215 und 216 schematisch vorgeführt. An die Primärspule P ist eine zweite Spule S^1 in Abzweigung angeschaltet, und werden sohin in dieser Spule aufgezwungene Schwingungen erregt, wenn der äußere Schwingungskreis L P E durch einlangende elektromagnetische Wellen in Schwingung versetzt wird. Da diese Spule an die eine Elektrode des Fritters anliegt, so wirkt die in diesem Kreise erregte Spannung auf ihn ein. Die zweite Elektrode steht nun mit der Spule S in Ver-

Fig. 216.

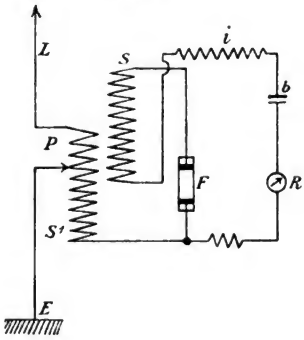
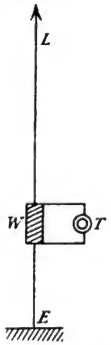


Fig. 217.



bindung, welche von der Primären P induktiv erregt wird. Ein Uebergreifen der Schwingungen auf den eigentlichen Empfangskreis wird durch die vorgeschalteten induktiven Widerstände i und i^1 hintangehalten.

Bei der in Fig. 215 gegebenen Anordnung soll keine vollkommene Uebereinstimmung erforderlich sein, wogegen die Anordnung Fig. 216 nur bei vollkommener Uebereinstimmung das Maximum der Wirkung erreichen läßt.

Schaltung der Einrichtungen unter Anwendung der integrierenden Wellenanzeiger. Bei Verwendung der integrierenden Wellenanzeiger scheint die Anordnung der direkten Einwirkung am vorteilhaftesten zu sein, da diese Instrumente die Wirkungen summieren und nur auf Intensität ansprechen, die in dem unteren Teile

Digitized by Google

des Luftdrahtes am kräftigsten zur Wirkung gelangt. Es genügt in diesem Falle, den Empfangsdraht mit der Entsendung in Einklang zu bringen, um die kräftigste Wirkung zu erhalten. Will man die wahlweise Wirkung verstärken, so läßt sich die induktive Uebertragung, sei es durch reine Induktion, sei es durch aufgezwungene Schwingungen, in gleicher Weise wie bei den gewöhnlichen Frittern anwenden, doch geht hierbei immer ein Teil der aufgenommenen Energie verloren.

Die Fig. 217 bis 219 zeigen die diesbezüglichen Schaltungsanordnungen, in welchen der Wellenanzeiger mit W und das eigentliche Empfangsinstrument mit T bezeichnet ist, während für alle anderen Teile die vorhergewählten Bezeichnungen beibehalten erscheinen.

Fig. 218.

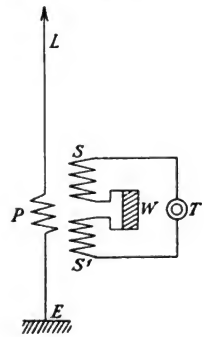
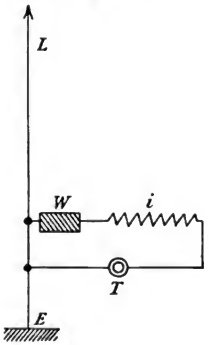


Fig. 219.



Bei Verwendung dieser Gattung von Wellenanzeigern, die sich durch große Empfindlichkeit auszeichnen, ist es bis jetzt jedoch nicht möglich, die einlangenden Zeichen mittels Hilfe eines Relais schriftlich niederzulegen und gelangt sonach für die Aufnahme ein Telephon oder ein sonstiges geeignetes Empfangsinstrument zur Verwendung.

Wahl der Schaltung für die Uebertragung und den Empfang. Die Wahl der Schaltungsanordnung für die Sendung und den Empfang hängt vielfach von den gegebenen Verhältnissen ab. Verfügt man nur über eine begrenzte Energiemenge und kommt es nicht darauf an, daß die entsendeten Wellen auch Nachbarstationen zum Ansprechen bringen können, sowie daß diese Stationen die Empfangsstationen zu stören vermögen, so ist die direkte Erregung des Senders unter Anwendung eines Induktionsapparates als Energiequelle,

Digitized by Google

sowie die Schaltung der Empfangsstelle mit induktiver oder gemischter Uebertragung unter Anwendung eines Fritters von Vorteil, weil hierdurch die aufgewendete Energiemenge am kräftigsten zur Wirkung gelangt.

Bei Erregung des Fritters durch induktive Uebertragung mittels Abzweigung verliert man unter sonst gleichen Bedingungen zwar etwas an Tragweite, schützt aber den Empfänger besser durch von außen kommende Störungen.

Will man die Störungsmöglichkeit der Empfangsstelle noch weiter herabdrücken und gleichzeitig die Beeinflussung der Nachbarstation von der Sendestation tunlichst unterbinden, so ist der Uebertragung mit indirekter Erregung des Luftdrahtes durch Induktion der Vorzug zu geben. Hierdurch wird aber bei der gleichen Menge verausgabter Energie die Tragweite noch wesentlich verkürzt.

In Wirklichkeit ist der hierdurch erreichte Schutz ein sehr geringer und erweist sich nur dann gut wirksam, wenn die von den einzelnen Sendestellen entsendeten Wellen von sehr verschiedenen Längen sind.

Bei Verwendung von integrierenden Wellenanzeigern läßt sich dieser Schutz gegen wechselseitige Beeinflussung wesentlich vergrößern, doch ist bei diesen der Nachteil vorhanden, daß die Zeichen weder schriftlich niedergelegt werden können, noch die Aufforderung zur Eröffnung einer Verständigung mittels einer Anrufvorrichtung vermittelt werden kann. Diese lassen sich sohin nur dort verwenden, wo die Empfangseinrichtungen einer fortwährenden Ueberwachung unterliegen. Allerdings soll wie bei den Wellenanzeigern von Ewing und Walter, Peuckert und King eine schriftliche Wiedergabe der Zeichen möglich sein, doch fehlen über das Wirken dieser Wellenanzeiger noch ausreichende praktische Erfahrungen.

Eine wirkliche Geheimhaltung der Nachrichten auf dem Wege der gegenseitigen Abstimmung könnte nur dann erreicht werden, wenn das Resonanzprinzip voll zur Ausnützung gelangen würde. Dies aber erfordert die Entsendung fortlaufender ungedämpfter Wellenzüge, was zu erreichen bisher noch nicht vollständig gelungen ist.

Die Unmöglichkeit der Geheimhaltung der Nachrichten auf direktem Wege ist, da die Nachrichtenvermittlung dermalen dank den fortschreitenden Verbesserungen in der Einzelausgestaltung allen billigen Anforderungen Rechnung trägt, anscheinend ein großer Nachteil der drahtlosen Telegraphie. Für das eigentliche Wirkungsgebiet dieser Art der Einrichtungen ist dies aber eher als ein Vorteil zu betrachten.

Digitized by Google

da hierdurch die Möglichkeit gegeben wird, Nachrichten mit unbekannten Stationen auszutauschen, ohne Rücksicht, mit welcher Einrichtung für drahtlose Telegraphie die betreffende Empfangs- bezw. Sendestelle ausgerüstet ist.

Das Hauptanwendungsgebiet der drahtlosen Telegraphie liegt naturgemäß auf dem offenen Meere und den Meeresküsten, sowie zu Lande für militärische Zwecke. Im ersteren Falle ist die Geheimhaltung nur in den seltensten Fällen ein Bedürfnis, welchem allenfalls durch Anwendung eines Geheimkodex Rechnung getragen werden kann. Bei militärischen Anlagen ist die Tragweite der Einrichtungen zumeist eine so geringe, daß ein Ablesen der Nachrichten von unbefugter Seite kaum anzunehmen ist. Daß hier ein Geheimkodex stets zur Benützung gelangen wird, steht jedoch außer allem Zweifel.

Eine Störungsfreiheit zu erzielen ist bisher jedoch noch nicht gelungen und ist dies wohl die größte Schattenseite dieser Vermittlungsart. Anders Bull ist es jedoch durch seine mechanische Regelung der Zeichenintervalle gelungen, sowohl in Bezug auf Geheimhaltung und Störungsfreiheit dem erstrebten Ziele sehr nahe zu kommen und soll insbesondere die Erprobung seiner Einrichtung bei der nordamerikanischen Kriegsmarine, trotzdem mit unvollkommenen Apparaten gearbeitet wurde, sehr zufriedenstellende Ergebnisse geliefert haben.

In Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der drahtlosen Telegraphie gelangt man zu dem Schlusse, daß sie ein sehr wertvolles Verständigungsmittel ist, daß sie jedoch nur unter ganz bestimmten Bedingungen bessere Dienste zu leisten vermag als ihre Vorgänger, sie daher auch aller Voraussicht nach niemals verdrängen wird.

I. Drahtlose Telephonie und sonstige Verwertungen der Wellenentsendung.

Hugo Moslers Vorschlag, den singenden Lichtbogen als Unterbrecher zu verwenden[1]). In einem parallel zu einem Lichtbogen geschalteten Stromkreise, der Kapazität und Selbstinduktion enthält, entsteht ein Wechselstrom von verhältnismäßig großer Intensität und außerordentlich hoher Frequenz von ca. 8000 Wechsel. Eine derartige Anordnung läßt sich als Unterbrecher für Induktorien benützen.

Bezeichnet a (Fig. 220) den Lichtbogen einer Handregulierlampe, b einen Kondensator von ziemlich bedeutender Kapazität (ca. 9 Mikro-

[1]) E. T. Z. 1904, S. 1014.

Digitized by Google

farad) und p die primäre Wicklung eines Transformators, dessen Sekundäre s mit einer Funkenstrecke f in Verbindung steht, so ist die allgemeine Anordnung für eine solche Einrichtung gegeben. Die Drosselspule l verhindert hierbei den Ausgleich des hochfrequentigen Wechselstromes durch die Netzleitung.

Die Schlagweite des Induktors hängt nebst der Unterbrechungszahl auch von der Intensität des Stromes ab. Um letztere zu erhöhen, kann die Kapazität b vergrößert oder auch die Spannung am Lichtbogen erhöht werden. Bei Benützung eines Kondensators von 9,27 Mikrofarad und einer Gleichstromspannung von 75 Volt an der Lampe erreichte die Intensität des Wechselstromes 3,4 Amp. und die Schlagweite des Induktors betrug annähernd 50 mm.

Wegen Vergrößerung der Spannung am Lichtbogen lassen sich mit Vorteil Lampen mit eingeschlossenem Lichtbogen verwenden, da

Fig. 220.

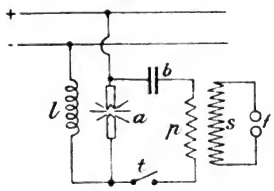
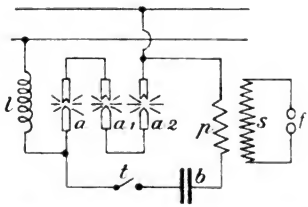


Fig. 221.



sie mit ungefähr 100 Volt brennen. Auch lassen sich mehrere Lampen in Serie schalten, wodurch die Spannung an den Lampen, mithin auch Stromstärke und Schlagweite, wachsen. Fig. 221 stellt eine solche Anordnung dar. a a_1 a_2 sind drei hintereinander geschaltete Lichtbogen, l die Drosselspule, b der Kondensator, p die primäre und s die sekundäre Wicklung des Induktors, f die Funkenstrecke und t der Zeichengeber.

Bei Verwendung von zwei Lichtbogen stieg die Stromstärke unter gleichzeitiger Vergrößerung der Schlagweite und erreichte bei drei Lichtbogen eine Intensität von 13 bis 15 Amp. im Kondensatorkreise und die Schlagweite des Induktoriums stieg auf 200 mm an, wobei die Funken dauernd auftraten. Durch Vermehrung der Lichtbogen läßt sich Stromstärke und Schlagweite bis zu jeder beliebigen Größe weiter erhöhen.

Die Lichtbogenunterbrecher besitzen in erster Linie den Vorteil, ununterbrochen im Betriebe bleiben zu können, ohne in der Unterbrechungszahl nachzulassen, was bei den elektrolytischen Unterbrechern

Digitized by Google

nicht der Fall ist. Sie bedürfen, insbesondere wenn man selbstregulierende Bogenlampen verwendet, wenig Wartung und Bedienung, welche sich eigentlich nur auf die Erneuerung der Kohlenstifte beschränkt. Ein besonders für die Zwecke der Funkentelegraphie wesentlicher Vorteil besteht darin, daß die Speisung des Induktors mit niedrig gespanntem Wechselstrom erfolgt. Es läßt sich sonach, ohne das lästige Funkenzischen, unterbrechen und infolgedessen die Telegraphiergeschwindigkeit erhöhen.

Mosler macht noch darauf aufmerksam, daß ein Lichtbogen mit parallel zu ihm geschalteter Kapazität und Selbstinduktion, wie dies von Duddell schon lange nachgewiesen, einen singenden oder pfeifenden Ton gibt. Er hat nun beobachtet, daß die auf die angegebene Weise erregte Funkenstrecke den Ton des Lichtbogens genau, jedoch mit bedeutend größerer Lautstärke wiedergibt, und befindet sich hier in Uebereinstimmung mit Otto Nußbaumer, dessen Verfahren zur Tonübertragung mittels elektromagnetischer Wellen hier ebenfalls beschrieben ist. Er glaubt, daß sich auf diesem Wege in nicht allzuferner Zeit eine Funkentelephonie ermöglichen lassen wird, da die Funkenstrecke alle Modulationen des Geräusches am Flammenbogen mit gleicher Klangfarbe wiedergibt.

Demgegenüber erwähnen die Herren Richard Franz und Josef Reinarz[1]), welche einschlägige Versuche im Jahre 1903 mit gleichem Ergebnisse durchgeführt hatten, daß alle Methoden, bei welchen die durch die Schallwellen erzeugten elektrischen Schwingungen nur dazu verwendet werden, eine auf beliebige Weise erregte Funkenstrecke zu ändern und zu beeinflussen, an dem Mangel leiden, daß die geringe Intensität der Mikrophonschwingungen zur Stärke der in Form von elektrischen Wellen ausgesandten Energie in einem jede brauchbare Wirkung ausschließenden Mißverhältnisse steht. Anders würde die Sache liegen, wenn man die Funkenstrecke direkt durch die Schallwellen erzeugen ließe, d. h. den Primärstrom des Induktors direkt im Rhythmus der Schallwellen unterbricht. In diesem Falle fallen die mit den Schallschwingungen sich nicht deckenden Wellenzüge fort. Der Funke setzt genau im Rhythmus des die Unterbrechung bewirkenden Tones ein und aus und befindet sich erst dann die der Sendestation entströmende Energie genau im Zustande der dem Schalle entsprechenden Schwingung. Um dies zu erreichen, braucht man nur eine akustisch schwingende Membrane, der ein Platinstift gegenübersteht, als Unter-

[1]) E. T. Z. 1904, S. 1083.

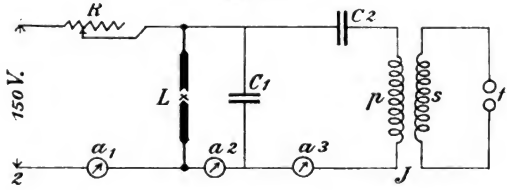
Digitized by Google

brecher zu benützen, um das Tönen der Funkenstrecke zu erhalten und läßt sich hiermit allerdings noch nicht die menschliche Sprache, aber jeder musikalische Ton mit tadelloser Reinheit übertragen. Die hierauf beruhende funkentelegraphische Tonübertragung ist auch für Laboratoriumsversuche vollkommen ausreichend.

Möglicherweise bietet die angeblich in Amerika beobachtete Erscheinung, daß die Frequenz der Unterbrechungen steigt, wenn man den Unterbrecher im luftleeren Raume arbeiten läßt, Anhaltspunkte, um auch die für die Vokal- und Konsonantenbildung maßgebenden Obertöne in den Induktor hinein zu bekommen und so den singenden Funken in einen sprechenden Funken zu verwandeln.

Die Versuche von Otto Nußbaumer zur Uebertragung von Tönen mittels elektrischer Wellen[1]). Um eine Uebertragung von Tönen mittels elektrischer Wellen zu erhalten, benützte

Fig. 222.



Nußbaumer die durch das Pfeifen eines Lichtbogens erregten Wechselströme zur Speisung eines Induktoriums, dessen Sekundäre mit einer Funkenstrecke verbunden war. Das Pfeifen des Lichtbogens wurde in der durch die Versuche von Simon, Duddell und Peuckert bekannten Weise hervorgerufen. Es mußte jedoch, da das Induktorium ein Eisenbündel enthielt, außer der gewöhnlichen Anordnung, nämlich Kapazität und Selbstinduktion in Serie, noch eine Kapazität im Nebenschlusse zur Bogenlampe geschaltet werden, um ein Pfeifen des Lichtbogens hervorzurufen. Die hierfür angewendete Schaltung zeigt Fig. 222 und bedeuten hier 1, 2 die Anschlußpunkte an die Stromquelle zur Betätigung der Bogenlampe L, R einen Regulierwiderstand, C_1 und C_2 Kapazitäten, p die Primäre, s die Sekundäre des Induktoriums J und f die Funkenstrecke. a_1, a_2, a_3 sind eingeschaltete Ampèremeter, um die Stromstärke in den einzelnen Leitungszweigen ablesen zu können. Als Stromquelle wurde ein einer Zentrale entnommener Gleichstrom

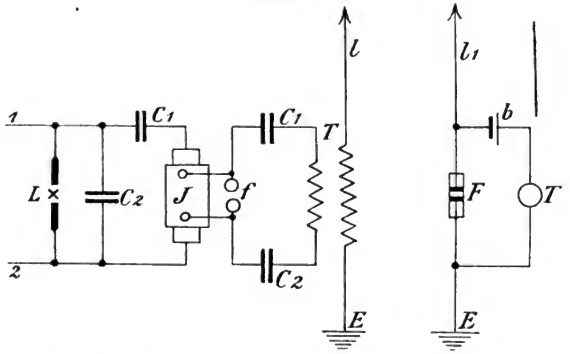
[1]) Ph. Z. 1905 Nr. 24.

Digitized by Google

von 150 Volt Klemmenspannung verwendet und der Bogenlampenstrom durch den Widerstand R so eingestellt, daß das Ampèremeter a_1 2 Amp. anzeigte. Der Kondensator C_1 hatte eine Kapazität von 15 und der Kondensator C_2 eine solche von 3 Mikrofarad. Das Ampèremeter a_2 zeigte hierbei einen Strom von 12 Amp. und das Ampèremeter a_3 einen Strom von 3 Amp. an. Durch diese Anordnung wurde über die Funkenstrecke f ein Funkenstrom erhalten, der genau so pfiff wie der Lichtbogen selbst.

Wird nun diese Schaltung zum Laden des Kondensatorsystems eines elektrischen Schwingungskreises benützt und dieser wieder mit

Fig. 223.



einem Luftleiter (Fig. 223) induktiv gekoppelt, so lassen sich diese Töne mittels elektrischer Wellen übertragen, wobei für den Empfänger alle Apparate angewendet werden können, welche es ermöglichen, drahtlose Telegramme telephonisch zu empfangen. Da sich jedoch diese Anordnung nur zur Uebertragung eines bestimmten Tones eignet, indem eine Aenderung des Tones nur durch Aenderung der in Serie geschalteten Selbstinduktion oder Kapazität möglich ist, verwendet Nußbaumer zur Uebertragung von Melodien zwei besondere Schaltungsarten.

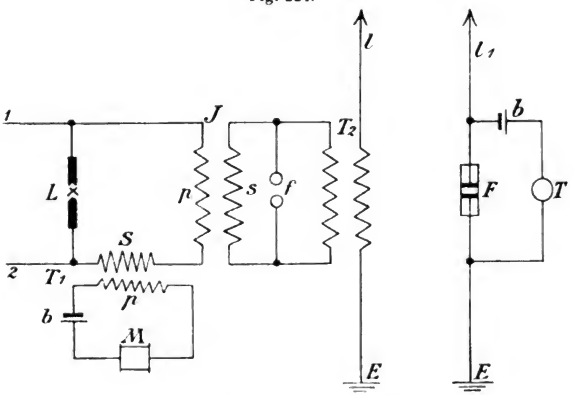
Bei der ersten Schaltungsart (Fig. 224) wird der Lichtbogen auf bekannte Art zum Singen gebracht. Die hierdurch veranlaßten Stromschwankungen werden der primären Wicklung des Induktoriums mitgeteilt und es entsteht durch die Transformation dieser Stromschwankungen bei f ein Funkenstrom, welcher die in das Mikrophon M

Digitized by Google

hineingesungene Melodie rein und deutlich wiedergibt. Es erfolgt sonach die Uebertragung der Melodien genau so, wie im vorigen Falle die Uebertragung von einzelnen Tönen.

Noch einfacher gestaltet sich die Schaltung zur Uebertragung von Melodien dadurch, daß man den singenden Flammenbogen gänzlich umgeht und in den Primärkreis des Induktoriums an Stelle des Unterbrechers ein Mikrophon M (Fig. 225) im Nebenschlusse zu einer

Fig. 224.



Spule S schaltet. Hierdurch wird auch das Mikrophon mehr geschont, als wenn es direkt in den Stromkreis eingestellt würde.

Es soll mit einer dieser Anordnungen auch schon die Uebertragung der Sprache in allerdings noch sehr undeutlicher Weise gelungen sein.

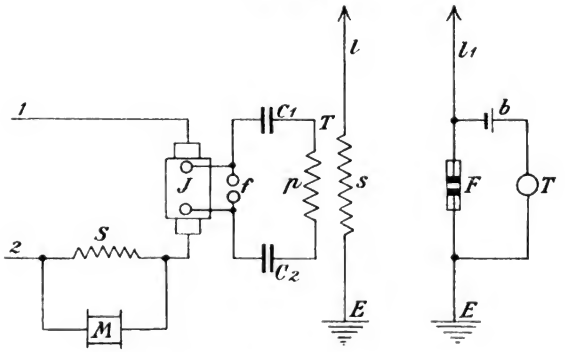
Q. Majoranas Vorrichtungen für eine drahtlose Telephonie[1]). Der Grundgedanke, von welchem der Erfinder ausgeht, ist folgender: Eine Funkenstrecke, über welche 10000 Funken in der Sekunde überspringen, wird von einer festen und einer beweglichen Elektrode begrenzt. Die bewegliche Elektrode wird durch Schallwellen in Schwingungen versetzt, wodurch sich die Funkenstrecke entsprechend verlängert und verkürzt, jedoch eine Aenderung der Frequenz nicht eintritt. Die den Schallwellen entsprechenden Verlängerungen und Verkürzungen beeinflussen, wie dies sofort einleuchtet, die von dem

[1]) Electricien, 7. Okt. 1904.

Digitized by Google

Luftdrahte ausgesendeten Wellen. Diese Wellen werden nun von einem magnetischen oder ähnlich wirkenden Wellenanzeiger aufgenommen und mittels Telephon der sinnlichen Wahrnehmung vermittelt. Eine gleichmäßige Erhaltung der Funkenfrequenz, die bei Temperaturerhöhung zunimmt, ist hier Bedingung. Zur Vermeidung der Erwärmung wird Luft oder Kohlensäure durch die Funkenstrecke geblasen. Eine magnetische Stimmgabel trägt zur Erhaltung der Frequenz bei. Als bewegliche Elektrode wird Quecksilber verwendet, das den Schall-

Fig. 225.



wellen folgt, ohne in Eigenschwingung zu geraten. Dieses neue System, über welches nähere Angaben noch fehlen, wurde bisher nur zwischen den äußersten Enden des Physikalischen Institutes in Rom erprobt und soll die menschliche Sprache mit derselben Treue übermitteln wie der Phonograph oder das Telephon. Die Fernwirkung der Einrichtung soll bis jetzt einige Kilometer weit reichen. Die Versuche sind jedoch noch nicht abgeschlossen und hofft Majorana die Entfernung bedeutend vergrößern zu können.

Drahtlose Telephonie auf der Weltausstellung in St. Louis[1]). Auf der Weltausstellung zu St. Louis gelangten zwei verschiedene Systeme der drahtlosen Telephonie zur Vorführung. Bei dem einen System von M. R. Hutchison wurde die Sprachvermittlung durch ein Mikrophon, eine Batterie und eine Drahtschleife für den Sender und einem mit einer aus mehreren Windungen bestehenden

[1]) E. W., Bd. 44, S. 225.

Digitized by Google

Drahtschleife verbundenen Telephone für den Empfänger ermöglicht. Durch den wechselnden Druck der Membrane des Mikrophons auf das Kohleklein ändert sich die Stromstärke in der primären Schleife den Variationen des Widerstandes entsprechend und mit ihm auch das durch den Strom erzeugte magnetische Feld im gleichen Verhältnisse. Treffen die magnetischen Kraftlinien die sekundäre Drahtschleife des Empfängers, so induzieren sie durch ihre wechselnde Intensität in dieser elektrische Ströme, die wieder das Telephon in der bekannten Weise zum Ansprechen bringen. Die Sekundärspule hatte ungefähr 0,3 m im Durchmesser, so daß nur ein sehr geringer Teil, etwa 1% der Energie des primären Stromkreises zur Wirksamkeit gelangte. Dessenungeachtet war die Tonübertragung innerhalb der Reichweite des magnetischen Feldes der Primärspule ebenso vollkommen, wie bei den gebräuchlichen Telephoneinrichtungen. Die Entfernung, bis auf welche eine Tonübertragung noch möglich ist, kann bei dieser Einrichtung nur eine sehr beschränkte sein und läßt sich eine Vergrößerung der Reichweite nur durch eine Vergrößerung des Umfanges der primären Drahtschleife erreichen, da der Aufwendung einer größeren Energiemenge durch das Mikrophon ganz bestimmte Grenzen gesetzt sind.

Das zweite System beruht auf der Anwendung des Radiophones und ist demnach als Lichttelephonie zu bezeichnen. Als Lichtquelle wurde ein normaler Scheinwerfer mit horizontalen Kohlen und einem Reflektorspiegel von etwas über 0,3 m Halbmesser verwendet. Der Lampe wurden annähernd 20 Amp. mit einer Spannung von 100 Volt zugeführt. Die Aenderungen in der Lichtstärke bewirkte ein Mikrophon, durch welches im Maximum ein Strom von 5 Amp. hindurchging. Das Mikrophon hatte, um widerstandsfähiger zu werden, Platinstatt der gewöhnlich gebrauchten Kohleelektroden. Die durch das Sprechen in das Mikrophon hervorgerufenen Widerstandsänderungen waren von entsprechenden Aenderungen der Lichtintensität begleitet.

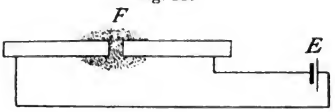
Der Empfangsapparat bestand aus einem größeren Reflektorspiegel, in dessen Brennpunkt eine Selenzelle angebracht war. Die Selenzelle war mit einer Trockenbatterie und einem Telephone in Reihe geschaltet. Die Widerstandsänderungen des Selens, hervorgerufen durch die wechselnden Lichtstärken, brachten das Telephon in der bekannten Weise zur Wirkung. In der Ausstellung vollzog sich die Sprachübertragung nur auf annähernd 150 m. Doch wurde die Reichweite dieser Einrichtung vorher durch Versuche mit annähernd 5 km ermittelt und wird behauptet, mit den gleichen Apparaten bei entsprechender Erhöhung der Stationen 13 bis 16 km überbrücken zu können.

Digitized by Google

Entzündung von Sprengladungen durch elektrische Wellen[1]). Herrn Ingenieur Ferdinand Schneider in Fulda soll es gelungen sein, ein Frittpulver zu erfinden, welches unter der Einwirkung elektrischer Wellen zum Fritten gebracht, sich entzündet. Dieses Frittpulver, welches mit dem Namen Fuldit belegt wurde, wird, wie dies Fig. 226 zeigt, auf den Frittspalt F zweier Blechstreifen geschüttet, welche mit einer Batterie E verbunden sind. Normal nicht leitend, wird er unter dem Einfluß elektrischer Wellen durch die Frittung zum Leiter, der Strom der Batterie E gelangt zur Wirkung und das Pulver entzündet sich. Die Wirksamkeit dieser Einrichtung wurde durch Versuche erwiesen.

Einige praktische Nutzanwendungen der drahtlosen Telegraphie[2]). Georg H. Morse gibt in einem Briefe an den Schriftleiter der E. W. einige Winke über praktische Anwendungen der drahtlosen Telegraphie, die gegebenen Falles nutzbringend sein

Fig. 226.



können und deshalb hier angeführt zu werden verdienen. 1. Nähern sich zwei Schiffe im nebeligen Wetter, deren Gegenwart durch drahtlose Korrespondenz gegenseitig bekannt ist, so läßt sich die Entfernung dadurch bestimmen, daß eines der Schiffe eine Kanone abfeuert und gleichzeitig einen drahtlosen Impuls entsendet. Der Zeitunterschied zwischen dem Empfange der beiden Wirkungen läßt durch die bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Schall- und der elektrischen Wellen die Entfernung mit großer Genauigkeit bestimmen. 2. Bleibt eines der Schiffe in Ruhe, wogegen sich das andere mit einer bestimmten Geschwindigkeit und in bestimmter Kompaßrichtung nähert, so läßt sich die gegenseitige Lage der beiden, da die Kompaßrichtung drahtlos übertragen werden kann, in der vorbeschriebenen Weise leicht ermitteln, wenn sich die abgegebenen Schüsse und die gleichzeitig entsendeten telegraphischen Impulse in entsprechenden Zwischenzeiten folgen. 3. In ähnlicher Weise kann ein Schiff, welches sich in nebeligem Wetter einer gefährlichen Küste nähert, seine Lage bestimmen. Zu diesem Zwecke sind an bestimmten Stellen der Küste

[1]) E. T. Z. 1905, S. 1118.
[2]) E. W., Bd. 45, S. 45.

Digitized by Google

Stationen für drahtlose Telegraphie aufzustellen und gleichzeitig mit Kanonen auszurüsten. Diese Stationen entsenden bei Nebel in bestimmten Zwischenzeiten gleichzeitig einen Schuß und ein telegraphisches Zeichen und ist sonach das Schiff aus der Ermittlung der Entfernung von der einen und der anderen Station, welche in den Karten verzeichnet sein müssen, im stande, seine jeweilige Lage mit hinreichender Genauigkeit festzustellen und gefährliche Punkte zu vermeiden. 4. Auch die Erforschung unbekannter Oertlichkeiten, deren Längengrad bestimmt werden soll, läßt sich mittels Hilfe der drahtlosen Telegraphie wesentlich erleichtern. Es wird zu diesem Zwecke der Durchgang der Sonne durch den Meridian eines bekannten Punktes mittels einer drahtlosen Nachricht bekannt gegeben und zeigt der Zeitunterschied zwischen dem Einlangen der Nachricht und dem Durchgange der Sonne an dem zu bestimmenden Punkte die Entfernung an.

K. Versuche und Versuchsergebnisse.

Die Versuche mit dem Systeme der drahtlosen Telegraphie von Anders Bull bei der nordamerikanischen Kriegsmarine[1]). Diese Versuche wurden mit den in „Die F. d. T." S. 89 beschriebenen Apparaten, den einzigen bisher gebauten, zwischen den staatlichen Stationen auf den Highlands of Navesink N. J. und Brooklyn Navy Yard auf eine Entfernung von annähernd 35 km durchgeführt. Die Gegend ist für Untersuchungsarbeiten insofern eine schwierige, als die Wellen über den größten Teil von Brooklyn zu gehen haben und die Stationen durch die von mehreren anderen drahtlosen Einrichtungen ausgehenden oft stundenlang währenden Einwirkungen stark belästigt werden.

Der regelmäßige Dienst zwischen den genannten zwei Stationen wird mit Einrichtungen nach dem Systeme „Telefunken" besorgt, welches System bis auf weiteres von der amerikanischen Kriegsmarine angenommen ist. Es wurde entschieden, die Einrichtungen von Bull in Verbindung mit den bestehenden Einrichtungen auszuproben. Die in Navesink und Brooklyn zur Verwertung gelangende Spannung betrug 80 bezw. 100 Volt. Der Uebertrager von Bull war jedoch nur für niedere Spannung und geringe Kraft gebaut und vermochte daher nur einen Bruchteil jener Energie aufzunehmen, welche regelmäßig für die Nachrichtenvermittlung zwischen diesen Stationen zur Verwertung gelangte. So war es, während normal ein Funke von

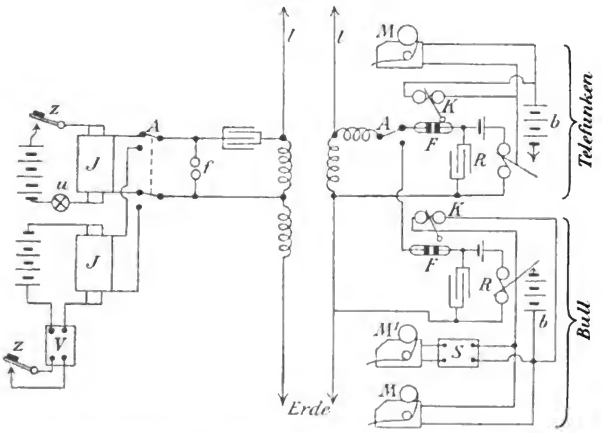
[1]) The Electrician 1904, 11. November.

Digitized by Google

19 mm Länge aufrecht erhalten wurde, bei der Versuchseinrichtung nur möglich, mit einem Funken von 3,1 mm Länge zu arbeiten. Dies machte jedoch die Bedingungen für die Versuche insofern ungünstig, als empfindliche Instrumente verschiedenartigen Störungen ausgesetzt sind und daher nicht mit der gleichen Genauigkeit und Geschwindigkeit arbeiten als weniger empfindliche. Wiewohl sich diese Schwierigkeiten leicht überwinden lassen, da der Sender für jede erforderte Energie gebaut werden kann, so mußte, nachdem für die in Frage stehenden Versuche keine anderen Instrumente zur Hand waren, mit diesen gearbeitet werden.

Der Sender wurde in Navesink, der Empfänger in Brooklyn aufgestellt. Mangel an Apparaten verhinderte die Entsendung von

Fig. 227.



Nachrichten nach beiden Richtungen. An beiden Plätzen waren (Fig. 227) Umschalter A vorgesehen, so daß entweder die Einrichtungen „Telefunken“ oder „Bull“ mit dem Schwingungskreis und Luftdraht verbunden werden konnten.

Die Versuche wurden hauptsächlich in der Absicht durchgeführt, die Möglichkeit der Geheimhaltung der Nachrichten zu erweisen, eine Aufgabe, die bisher durch kein anderes System der drahtlosen Telegraphie gelöst wurde. Es wurden daher in der empfangenden Station Vorkehrungen getroffen, daß die Nachrichten gleichzeitig auf dem

Digitized by Google

abgestimmten und einem nicht abgestimmten Schreibapparate niedergelegt wurden. Geheimhaltung wurde durch Anwendung von Serien mit drei Impulsen in Zwischenzeiten von 0,063 und 0,295 Sekunden erreicht, wobei die Zeit zwischen den sich folgenden Serien 0,2 Sekunden betrug.

Die offizielle Vorführung erfolgte am 12. Mai vor der Kommission für drahtlose Telegraphie. Die Entsendung der Nachrichten geschah durch den Chefelektriker der Station in Navesink. Während der Versuche zeigten sich leichte atmosphärische Störungen, welche die Uebertragung mit dem System „Telefunken" ziemlich stark zu beeinflussen schienen, während sie auf die Uebertragung mit dem Versuchssysteme nur eine geringe Einwirkung ausübten. So war eine Nachricht, welche mit den Instrumenten „Telefunken" vier- oder fünfmal wiederholt werden mußte, ehe sie vollkommen verstanden wurde, mit den Bullapparaten bei nur einmaliger Sendung leicht zu entziffern. Der Grund ist einleuchtend, da bei dem Bullsystem Störungsmöglichkeiten bis zu einem gewissen Grade beseitigt sind. Um den abgestimmten Empfänger in Wirkung zu bringen, sind drei Impulse in genau bemessenen Zwischenzeiten erforderlich. So lange daher die störende Einwirkung gemäßigt ist, beeinflußt sie den Empfänger nicht, selbst häufig dann nicht, wenn die Störung so stark ist, daß die Uebertragung mit den gewöhnlichen drahtlosen Einrichtungen unmöglich wird. Es ist hierbei noch zu erwähnen, daß die Einrichtungen „Telefunken" während der ganzen Zeit mit der vollen normalen Energie arbeiteten.

Während der Versuche wurden sehr lange Depeschen mit den Bullapparaten in zufriedenstellender Weise übermittelt, wobei zeitweise ununterbrochen durch 15 Minuten telegraphiert wurde. Auch wurden einige Versuche zu dem Zwecke durchgeführt, um den Einfluß eines Unterschiedes in der Umlaufsgeschwindigkeit des Verteilers und des Sammlers festzustellen. Die Geschwindigkeit des Verteilers wurde gleichbleibend mit 57 Umdrehungen in der Minute aufrecht erhalten, wogegen die Geschwindigkeit des Sammlers zwischen 53,5 und 61 Umdrehungen in der Minute abgeändert wurde. Während der ganzen Zeit wurden die von Navesink entsendeten „V" auf dem Streifen des abgestimmten Schreibapparates deutlich niedergelegt. Es übten sonach Abweichungen der Umlaufsgeschwindigkeiten um 8 v. H. noch keinen bemerkenswerten Einfluß aus. Es soll jedoch, um eine reine Abstimmung zu erhalten, getrachtet werden, diese Geschwindigkeitsunterschiede so klein als möglich zu machen.

Digitized by Google

Der Vergleich zwischen den Aufzeichnungen auf den Streifen des abgestimmten und des nicht abgestimmten Schreibapparates erwies die vollständige Unmöglichkeit, die Zeichen des letzteren zu entziffern.

In der Schaltungsskizze (Fig. 227) bedeuten ferner noch J die Induktoren, Z die Zeichengeber, u einen Unterbrecher, V den Verteiler, A die Umschalter, f die Funkenstrecke, l die Luftdrähte, F die Fritter, b die Ortsbatterien, K die Klopfer, R die Empfangsrelais, M die normalen, M^1 den mit der Abstimmungsvorrichtung in Verbindung stehenden Schreibapparat und S den Sammler.

Versuche mit Bäumen als Empfänger in der drahtlosen Telegraphie[1]). Major George O. Squier vom Signalkorps der Vereinigten Staaten konstatierte, daß Bäume dazu verwendet werden können, drahtlose telegraphische Mitteilungen aufzufangen und daß sie ähnlich wie die Fangdrähte der Empfangstellen wirken. Baumstämme als Maste verwendet, wirken ebenso wie Drähte, um elektromagnetische Ströme zur Erde zu führen. Je gesunder der Baum ist, desto besser wirkt er als Leiter. Für hochfrequente oszillatorische Ströme verhalten sich die Blätter der Bäume genau so, als wenn sie von Metall wären und übertragen die Bäume diese Schwingungen von dem sie umgebenden Grunde durch ihre Blätter.

Durch Verbindung der Apparate für drahtlose Telegraphie mit Bäumen war es möglich, mit der nächsten etwa 3,2 km entfernten Station und späterhin auch auf eine Entfernung von 5,6 km eine telegraphische Uebertragung anzubahnen. Major Squier glaubt, daß die Verwertung von Bäumen als Wellenstrahler und Wellenfänger große Vorteile für den Nachrichtendienst im Kriege bietet.

Gegenüber einer Redaktionsbemerkung, daß die bekanntgegebenen Ergebnisse kaum den Schluß ziehen lassen, daß ein Baum mit Nutzen als Sender für drahtlose Telegraphie auf größere Entfernungen verwendet werden kann, bemerkt John M. Blake, eine Reihe von ihm durchgeführter Versuche erweisen, daß ein Baum als Wellenfänger verwendet, ausgezeichnete Ergebnisse zu liefern vermag, wogegen ihm über die Ausnützung eines Baumes als Wellenstrahler keine Beobachtungen zu Gebote stehen.

Als Ausgangspunkt dieser Beobachtung diente der Versuch, einen Baum als Stütze für einen wohlisolierten Fangdraht zu verwenden. Es wurde hierbei angenommen, daß ein an dem Baumgipfel befestigter isolierter Draht als Empfänger wirken kann, indem die einlangenden

[1]) E. W., Bd. 45, S. 90, 181, 307.

Digitized by Google

Impulse von keinem hohen Potential sein konnten. Als Draht wurde gewöhnlicher Draht für Haustelegraphenleitungen, doppelt umsponnen und mit Paraffin isoliert, verwendet. Vier solcher Drähte wurden von dem Baumwipfel nach verschiedenen Richtungen geführt und sowohl die oberen als unteren Enden dieser Drähte mit einem Drahte verbunden, welcher zu den annähernd 30 m entfernten passenden Empfangsapparaten führte. Das Ergebnis war, daß bei einer Gelegenheit unter günstigen Bedingungen eine entfernte Station, voraussichtlich New York, so deutlich gehört wurde, daß die Nachricht leicht abgelesen werden konnte. Zu einer Zeit, wo die von der Versuchsstelle ungefähr 5 km entfernte Station New Haven gleichzeitig korrespondierte, wurde der Ton der entfernten Station nicht vollkommen übertönt. Sobald New Haven abbrach, war die entfernte Station wieder deutlich und klar zu hören.

Daß hier mit einer Ulme von annähernd 20 bis 25 m Höhe, welche als Wellenfänger benützt wurde, Nachrichten von einer ungefähr 120 km entfernten Station aufgenommen wurden, ergab sich aus verschiedenen, hier belanglosen Beobachtungen und Schlußfolgerungen mit nahezu unzweifelhafter Gewißheit.

Da die Isolierung der Drähte in diesem Falle praktisch eine mangelhafte war, wurde vermutet, daß der Erfolg nicht von der Isolierung abhängen konnte. Es wurden daher später zwei große Bäume, ganz wie vorhin, mit nackten galvanisierten Drähten verbunden und dabei das ganz gleiche, wenn nicht ein besseres Ergebnis erzielt.

Insofern als bei diesen Versuchen die Verbindung mit dem Wipfel und nicht mit dem Stamme des Baumes hergestellt und die Erdung in einiger Entfernung von der Fängerstelle vorgenommen wurde, bedeutet diese Anordnung eine Erweiterung der von Squier angewendeten Methode.

Ein etwa 200 m entfernter Ahornbaum gab auch, wenn anstatt der bisher verwendeten Kupferdrähte Eisendrähte benützt wurden, gute Ergebnisse. Dieses Ergebnis liefert die Möglichkeit, die Wirkungen einer größeren Zahl isolierter Bäume zu kombinieren, indem man sie mit einem Empfänger verbindet. Bei den Versuchen ergab der weiter entfernte Baum starke Wirkung, ohne Rücksicht auf die Abstimmung in New Haven. Der nähere Baum erwies sich hingegen für Aenderungen in der Abstimmung viel empfindlicher.

Wenn auch Bäume die künstlichen Sende- und Fanggebilde für Stationen mit großer Reichweite nicht zu ersetzen vermögen, so ist

Digitized by Google

dies doch, durch die nachgewiesene Möglichkeit von deren Verwendbarkeit für Empfangszwecke, geeignet, die Anwendung der drahtlosen Telegraphie mehr zu popularisieren, umsomehr als sich die Kosten der Einrichtung hierdurch um ein bedeutendes herabmindern lassen.

Versuche zur Vermittlung von Nachrichten auf funkentelegraphischem Wege zwischen St. Louis und Chicago[1]). Die de Forest-Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hatte während der Ausstellung Vorkehrungen getroffen, um einen regulären funkentelegraphischen Dienst zwischen St. Louis und Chicago, d. i. über Land auf eine Entfernung von über 460 km, zu ermöglichen. Die Versuche wurden im Beisein und unter der Kontrolle der Jury für Schwachstromtechnik am 14. September 1904 durchgeführt. Um eine absolute Kontrolle zu gewinnen, begaben sich zwei Mitglieder der Jury nach Chicago; bevor wurde aber dem Leiter der Versuche in St. Louis eine Depesche unter Siegel übergeben, welche erst über Aufforderung von Chicago aus eröffnet werden sollte. Um eine sofortige Kontrolle über die Richtigkeit der Uebertragung zur Verfügung zu haben, wurde die interurbane Telephonlinie Chicago—St. Louis für die ganze Zeit der Versuche zur Verfügung der Jury gehalten. Die Zeiten wurden mittels fünf Stoppuhren festgestellt und unmittelbar nach Einlangen der Nachricht über die Telephonlinie verglichen. Die Uebertragung der Nachrichten war nur von St. Louis aus möglich, weil die Sendeeinrichtung in Chicago noch nicht fertiggestellt war. Die Uebertragung der ersten Nachricht, welche 37 Worte, darunter meist Fremdworte und Eigennamen, enthielt, erforderte drei Minuten und wurde ganz richtig aufgenommen, nur daß ein Wort fehlte. Die telephonische Antwort auf die diesbezügliche Anfrage betonte, daß dieses Wort zwecks weiterer Kontrolle absichtlich weggelassen wurde.

Um das Zusammenarbeiten des drahtlosen Systemes mit dem Morsetelegraphensystem zu erweisen, wurden ferner von St. Louis (Ausstellung) drahtlose Telegramme nach einer in der Vorstadt gelegenen Telegraphenstation entsendet, von dort mittels Morsetelegraphen nach einer zweiten Telegraphenstation übertragen, welche diese Telegramme an die drahtlose Station für den Fernverkehr wieder drahtlos weiterleitete. Auch diese Versuche, welche doch nur einen provisorischen Charakter haben konnten, erwiesen sich als erfolgreich.

Ein weiterer Versuch der Uebertragung eines Telegrammes in japanischer Sprache war als vollkommen gelungen zu bezeichnen.

---

[1]) E. W., Bd. 44, Nr. 20.

Digitized by Google

Auch hier wurde das absichtliche Auslassen einiger Worte sofort bei der Aufnahme bemerkt.

Bei weiteren Versuchen, die geübten Telegraphisten zu eliminieren und die Zeichenaufnahme und Uebertragung durch Mitglieder der Jury zu besorgen, konnten die einzelnen mehrmals wiederholten Zeichen am Telephone, welches als ausschließlicher Empfänger diente, deutlich abgelesen werden. Die Aufnahme von Nachrichten, welche einen sehr geübten Gehörleser erfordert, erwies sich jedoch bei der mangelnden Uebung der Experten als unmöglich, hingegen stieß die Abgabe von Depeschen auf keinerlei Hindernisse und gab ein Mitglied der Jury eine Reihe von Depeschen an die verschiedensten Adressen ab.

Die Möglichkeit der Nachrichtenvermittlung auf funkentelegraphischem Wege über Land, auch über größere Entfernungen, scheint hiermit erwiesen, wie denn auch seit dieser Zeit ein funkentelegraphischer Dienst zwischen St. Louis, Springfield und Chicago zu normalen Tarifen eröffnet wurde.

Verwendung der drahtlosen Telegraphie für den Berichterstatterdienst im Kriege[1]). Bei Ausbruch des russisch-japanischen Krieges schloß die englische Zeitung „The Times" mit der De Forest-Kompanie einen Vertrag ab, nach welchem sich die letztere verpflichtete, zwei vollständige Sätze von Telegraphenapparaten für drahtlose Telegraphie nebst zwei mit der Einrichtung vollkommen vertrauten Telegraphisten nach China zu senden, woselbst selbe sich zur Verfügung der Kriegskorrespondenten des genannten Blattes Captain Lionel James zu stellen hatten. Innerhalb 10 Tagen nach Erhalt des Auftrages gingen die Apparate in Begleitung der Telegraphisten nach Vancouver ab, von wo sie unmittelbar mit dem Dampfer „Kaiser von Japan" nach Shanghai weitergingen. In Shanghai hatte Captain James einen kleinen Dampfer gemietet, auf welchem der Toppmast bis zu 25 m Höhe aufgetakelt wurde. Auf dieses Schiff wurde nun der eine Apparatensatz aufmontiert und der andere nach Wei-Hai-Wei mitgenommen. Dortselbst wurde mittlerweile ein 60 Fuß hoher Mast aus Bambus aufgetakelt, so daß mit der Errichtung der festen Landstation unmittelbar begonnen werden konnte. Als Platz wurde eine Bergspitze ungefähr 16 km von Wei-Hai-Wei entfernt ausgewählt. Die Installation erfolgte so rasch, daß die „Times" drei Wochen nach Einlangen der Einrichtung in Wei-Hai-Wei bereits eine spaltenlange Depesche von Capt. James abdrucken konnte, welche

[1]) E. U. Bd. 43, S. 745, 759. 760.

Digitized by Google

vom Schiffe drahtlos zur Station befördert wurde. Seit dieser Zeit wurden zahlreiche Depeschen von dem Maste des kleinen Dampfers entsendet, welche Berichte aus dem Koreanischen Golf in der Nähe von Chemulpo, aus den Schlachten von und um Port Arthur brachten.

Jeder der beiden Sätze hatte eine Kapazität von 1 Kw. und umfaßte einen 2½ PS. Kerosenmotor von 60 Umdrehungen in der Minute, einen 500 Volt Wechselstromgenerator mit besonderer Erregermaschine, einen Oeltransformator, welcher die Spannung auf 20000 Volt erhöhte, einen in Oel versenkten Uebertragungstaster, einen Oszillator nach Shoemaker-De Forest nebst Abstimmungseinrichtung, den bekannten elektrolytischen Wellenanzeiger mit Relais und Glockenverbindung, sowie außerordentlich empfindlichen Empfangstelephonen.

Ursprünglich wurde in Aussicht genommen, eine der Stationen auf einer der Jamesinseln in der Nähe der Chemulpohalbinsel zu installieren und von dort die Nachrichten nach Wei-Hai-Wei über eine Entfernung von 280 km zu befördern. Allein die Schiffsstation gewährte größere Beweglichkeit und die Möglichkeit einer schnelleren Beförderung der Nachrichten.

Die Einrichtungen in der Gelben See waren den Einflüssen der japanischen drahtlosen Telegraphenstationen an Bord ihrer Kriegsschiffe stark ausgesetzt, indem, sei es absichtlich zum Zwecke der Störung oder durch den normalen Gebrauch dieser Apparate, ein ununterbrochener Strom von drahtlosen Signalen in der Nachbarschaft entsendet wurde. Allein die bei der De Forestschen Einrichtung zur Anwendung gelangte Abstimmungsmethode, sowie die Schnelligkeit, mit welcher die Zeitungsdepeschen abgegeben wurden (20 bis 30 Worte in der Minute), in Verbindung mit der telephonischen Methode des Tonlesens, ermöglichten es den Telegraphisten, die längsten drahtlosen Depeschen ohne Aufschub und ohne Fehler abzusenden.

Mit Ausnahme einer in dem Empfangsmaste auf Wei-Hai-Wei durch einen Taifun hervorgerufenen, aber bald behobenen Störung blieb der Nachrichtendienst der „Times“ ununterbrochen aufrecht, und war es dieser Zeitung nur auf diesem Wege möglich, die meisterhaften Berichte ihres Kriegskorrespondenten in der kürzesten Zeit und ausführlichsten Weise zu bringen.

Digitized by Google

L. Schlußbemerkung.

Der drahtlosen Telegraphie ist es trotz der kurzen Zeit ihres Bestehens und trotz des Mißtrauens, welches dieser Art von Verständigung anfänglich mit vollem Rechte begegnete, gelungen, im allgemeinen Verkehrsleben festen Fuß zu fassen und sich, wiewohl das Anwendungsgebiet ein verhältnismäßig beschränktes ist, in ziemlichem Umfange einzubürgern. Hierfür spricht wohl die Tatsache, daß die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie allein bisher gegen 400 Stationen ausgerüstet hat bezw. auszurüsten im Begriffe ist. Sie hat dadurch bereits die Marconigesellschaft überflügelt, welche gegenwärtig nur etwa 260 solcher Stationen besitzen soll.

Die Zahl der im Betriebe befindlichen Stationen für drahtlose Telegraphie ist, da verläßliche Angaben nicht vorliegen, nur annähernd zu schätzen, und dürfte mit 1500 nicht zu hoch angenommen sein. Es ist eben dabei zu berücksichtigen, daß nationale Gesellschaften in allen Ländern bevorzugt werden, diese somit die territoriale Domäne beherrschen. So sind in Frankreich die Einrichtungen nach Rochefort, Branly-Popp, Popoff-Ducretet vorherrschend. Rußland hat das letztere System adoptiert und beginnt sich dort erst in neuerer Zeit das System „Telefunken“ Bahn zu brechen. In Amerika werden die Systeme von De Forest, Fessenden, Stone etc. eifrig verbreitet. Es dürfte also nicht viel fehlgegangen sein, wenn die Summe aller nach diesen Systemen eingerichteten Stationen mit 800 angenommen wird. Der fehlende Rest dürfte sich auf die Einrichtungen weniger bekannter Systeme verteilen.

Und hierbei steht man erst am Anfangspunkte der Entwicklung. Sind erst einmal alle Vorurteile überwunden und die Vorteile voll erkannt, und dieses Bewußtsein beginnt sich allmählich Bahn zu brechen, so wird es bald kein Schiff von irgend welcher Bedeutung, keinen nur einigermaßen wichtigen Küstenpunkt mehr geben, welcher nicht mit funkentelegraphischen Einrichtungen ausgerüstet ist. Beginnt doch bereits das amerikanische Marinedepartement alle für die Schiffahrt wichtigen Küstenpunkte mit solchen Einrichtungen zu versehen, die nicht nur die Aufgabe haben sollen, Nachrichten zwischen Schiff und Land auszutauschen, sondern denen auch die weit wichtigere Aufgabe zufällt, herannahende Schiffe vor drohenden Wetterkatastrophen zu warnen, zu welchem Zwecke ihnen die Wetterberichte und Wettervoraussagungen seitens des Wetterdepartements auf telegraphischem Wege vermittelt werden.

Digitized by Google

Auch für die Telegraphie über Land scheint der drahtlosen Telegraphie eine Zukunft gesichert zu sein, wenn auch nur für ganz bestimmte Sonderzwecke, da sie mit der Telegraphie über Drähte wohl kaum jemals in den Wettbewerb eintreten dürfte. Hingegen ist, wenn auch nur für beschränkte Entfernungen bis etwa 1200 km, die Konkurrenzfähigkeit mit Kabelverbindungen erwiesen, da die Uebertragungssicherheit für beide beinahe die gleiche ist, die Kosten der Anlage und des Betriebes nach vorliegenden Berechnungen aber weit zu Gunsten der ersteren neigen. Hingegen erscheint bei der Kabeltelegraphie das Geheimnis besser gewahrt. Und hier gelangt man zu dem wichtigsten Ziele, welches zu erreichen das eifrigste Bestreben sein muß.

Man glaubte diesem Ziele durch Erreichung einer vollkommenen Abstimmung näher rücken zu können. Allein eine solche Abstimmung erschwert nur das Mitlesen einer Nachricht, macht sie aber nicht unmöglich, indem es einem geübten Telegraphisten leicht gelingt, die eigene Einrichtung auf jene Wellenlänge einzustellen, die von der sendenden Station ausgestrahlt wird. Insofern ist man gerne geneigt, den Wert der Abstimmung zu überschätzen. Der große Vorteil einer genauen Abstimmung liegt jedoch in ganz anderen Umständen begründet und zwar in der Ersparnis an aufzuwendender Energie durch volle Ausnutzung des Resonanzprinzipes für die Ueberbrückung einer gegebenen Entfernung, da die Energiekosten hier wesentlich ins Gewicht fallen, und in der Sicherung der eigenen Einrichtung gegen atmosphärische und andere unbeabsichtigte Störungen, sowie darin, daß eine gegenseitige Kollision der von verschiedenen Stationen ausgesendeten Wellen verschiedener Länge ausgeschlossen werden kann.

Bei der vollkommenen Abstimmung, die die Entsendung ununterbrochener Wellenzüge voraussetzt, kann von einer Energieersparnis wohl kaum die Rede sein, weil die Wellenstrahler ganz enorme Energiemengen in den Raum entsenden, die sich dermalen, ehe der Funke einsetzt, in den Kondensatoren aufspeichern und sozusagen plötzlich, einem Schusse vergleichbar, freigegeben werden. Um vollkommene Resonanz zu erreichen, wird, da sich die Ausstrahlung ununterbrochen vollzieht, die zur Aufwendung gelangende Energiemenge jedenfalls größer werden, als dort, wo die Ausstrahlung durch verhältnismäßig sehr lange Pausen, wie dies heute der Fall ist, unterbrochen wird. Dagegen wird die Intensität der Ausstrahlung eine bedeutend geringere sein können, denn die ununterbrochene Einwirkung der Wellenzüge bringt den Wellenfänger, selbst bei sehr schwachen Impulsen, sehr bald zum kräftigen Mitschwingen. Eine Berechnung

Digitized by Google

der verbrauchten Energiemengen müßte trotz der geringeren Intensität für die vollkommene Abstimmung einen ungleich höheren Energieverbrauch ergeben, als für die dermalige unvollkommene Abstimmung, der durch die erstere jedoch erzielbare Gewinn in Bezug auf Störungsfreiheit wäre jedoch ein so großer, daß dem gegenüber die höheren Energiekosten nicht in Betracht kommen können.

Gegen absichtliche Störungen, die doch wohl nur in Kriegsfällen oder möglicher- aber nicht wahrscheinlicherweise bei erbittertem Konkurrenzkampfe beabsichtigt werden dürften, schützt auch die vollkommenste Abstimmung nicht, da die empfindlichen Wellenanzeiger auf die für diese Zwecke entsendeten besonders kräftigen Wellenimpulse immer ansprechen werden und sonach unter Umständen eine Nachrichtenaufnahme unmöglich gemacht werden kann.

In diesem Sinne wird der Wert der Abstimmung vielfach noch überschätzt. Für gewisse Zwecke, namentlich auf See, kann eine genaue Abstimmung sogar schädlich werden, und wurde dies bei dem System „Telefunken" auch berücksichtigt, indem für diese Fälle Einrichtungen mit unscharfer Abstimmung zur Anwendung gelangen.

Bestimmte Zwecke erfordern jedoch unbedingt die Geheimhaltung und Störungsfreiheit.

Es herrscht nun vielfach die Ansicht, daß sich die Geheimhaltung durch Anwendung von Chiffern erreichen lassen wird. Diese Ansicht ist jedoch irrig, da Geheimhaltung und Störungsfreiheit Hand in Hand gehen. Störungen sind aber, wie erwiesen, selbst bei der schärfsten Abstimmung, insbesondere wenn es sich um Uebertragung auf größere Entfernung handelt, nicht auszuschließen. Es wird sonach öfter vorkommen, daß Punkte ausbleiben oder neue Punkte (insbesondere bei atmosphärischen Störungen) erscheinen oder sich ein Strich in mehrere Punkte zersplittert, so daß die Buchstaben leicht falsch gelesen werden. Bei Gebrauch der gewöhnlichen Sprache sind solche verstreute Fehler von keiner großen Bedeutung, da sie aus dem Zusammenhange des Gesamttextes der Nachricht leicht erkannt werden können. Bei Gebrauch von Chiffern hingegen kann die falsche Deutung von nur wenigen Buchstaben den Sinn der ganzen Nachricht ändern. Der Gebrauch von Chiffern erfordert nebstbei große Geschicklichkeit und ist, selbst wenn die Zeichen vollkommen rein anlangen, sehr zeitraubend, was namentlich in Fällen, in welchen die Minuten, wie im Kriege, kostbar sind, einen großen Nachteil bedeutet.

Man sieht hiernach die Ziele, welchen der menschliche Schöpfergeist für die Vervollkommnung der in Betracht kommenden Einrich-

Digitized by Google

tungen zuzustreben hat, klar vor sich. Diese liegen erstens, trotz der bisher erreichten großen Genauigkeit, welche heute schon erreicht wurde, in einer weiteren Verschärfung der Abstimmung und zweitens in der Wahrung des Geheimnisses und Erreichung einer vollkommenen Störungsfreiheit. Erstere wäre nur durch Entsendung ununterbrochener Wellenzüge zu erreichen und sind hierfür die Grundlagen von Simon und Reich bereits gegeben. Für das zweite hat Bull bereits die Wege gewiesen und wären diese weiter zu verfolgen, da die Ergebnisse der bereits durchgeführten praktischen Versuche die Richtigkeit der zu Grunde liegenden Idee bestätigten und die weitere Ausgestaltung bezw. Verbesserung der Einrichtung vieles für die Zukunft erwarten läßt.

Auch die Lenkung der Wellen in eine bestimmte Richtung ist eine jener wichtigen Aufgaben, die zu lösen der Zukunft noch vorbehalten bleibt. Diesbezüglich scheint es nun durch Verwendung kreisförmig oder elliptisch polarisierter Wellen, sowie durch Ausnützung der Interferenz, wie die Versuche von Professor Artom und auch von Braun erweisen, gelungen zu sein, ganz bedeutende Fortschritte zu erzielen. Daß durch eine gerichtete Telegraphie die Geheimhaltung der Nachrichten wesentlich gefördert wird, bedarf wohl kaum einer eingehenderen Begründung.

Die Möglichkeit der Ueberbrückung sehr großer Entfernungen auf drahtlosem Wege ist dermalen schon gegeben, da eine solche nur von der Energie der ausgestrahlten Wellen, somit von dem Aufwande an primärer Energie abhängt. Es dürfte demnach Marconi auch gelingen, die von ihm geplante Verbindung zwischen Europa und Amerika so herzustellen, daß ein verläßlicher Nachrichtendienst zu erwarten ist. Alle einschlägigen Bestrebungen haben jedoch heute noch nur geringen praktischen Wert, und es steht zu befürchten, daß die ganz außerordentlichen Energiemengen, welche hierfür zur Aufwendung gelangen müssen, trotz gegenteiliger Behauptung, die Nachrichtenvermittelung der schwimmenden und näher liegenden festen Stationen stören werden. Allerdings läßt sich diese Gefahr durch Verwendung elektrischer Wellen sehr großer Längen, die sich auch aus anderen Gründen für die Fernübertragung zweckmäßig erweist, teilweise herabdrücken. Da aber die schwimmenden Stationen meist mit unscharfer Abstimmung arbeiten, somit deren Wellenfänger auch durch Wellen verschiedener Länge ins Mitschwingen versetzt werden, so ist eben ein Ansprechen der Empfangsapparate, namentlich wenn die Schiffe in die Nähe der Sendestelle gelangen, und der Einwirkung von Wellen sehr großer Intensität ausgesetzt sind, nicht ausgeschlossen.

Digitized by Google

Die Versuche zur Ermöglichung der Sprachübertragung mittels elektrischer Wellen sind dermalen wohl auch nur von mehr oder minder theoretischem Interesse. Gelingt die Lösung, und die ersten Ansätze hierzu sind schon vorhanden, so kann es sich bei den geringen Intensitätsschwankungen, deren Ausgangspunkt die durch die menschliche Stimme erzeugten Schallwellen sind, doch immer nur um die Ueberwindung unbedeutender Entfernungen handeln. Ein Wettbewerb mit der Telephonie über Drähte hat sonach kaum Aussicht auf Erfolg.

Ein Rückblick auf die ersten Anfänge der drahtlosen Telegraphie und der Verfolg der fortschreitenden Entwicklung bis zu den großen Errungenschaften der Jetztzeit läßt nicht nur den gewaltigen Unterschied zwischen einst und jetzt deutlich erkennen, sondern auch deren Zukunft im günstigen Lichte erscheinen.

Digitized by Google

DIE FORTSCHRITTE

AUF DEM GEBIETE DER

DRAHTLOSEN TELEGRAPHIE.

IV.

Von

Ingenieur ADOLF PRASCH,

k. k. Regierungsrat und Eisenbahnoberinspektor a. D., Neudegg, Krain.

MIT 164 ABBILDUNGEN.

Sonderausgabe

aus der

Sammlung elektrotechnischer Vorträge.

Herausgegeben von Prof. Dr. ERNST VOIT.

Band X.

STUTTGART.

VERLAG VON FERDINAND ENKE.

1906.

Digitized by Google

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in **Stuttgart**

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Einleitung	1
B. Theorien und physikalisch-theoretische Untersuchungen	4
Eine neue Theorie über die Fritterwirkung (Dr. K. E. Guthe)	4
Zur Teorie ungedämpfter Schwingungen (S. Maisel)	8
Theorie des an einen geschlossenen Sendekreis unmittelbar angeschlossenen Sendedrahtes (Dr. Max Abraham)	11
Theorie des Braunschen Senders (Dr. L. Mandelstamm)	20
Vergleich der Sender für drahtlose Telegraphie mit direkter und induktiver Kopplung (Dr. Georg Seibt)	29
Theorie und Praxis in der drahtlosen Telegraphie (Dr. J. Zenneck)	35
Theorie des Senders für drahtlose Telegraphie von James Foster King	42
Neue Formel von B. Straßer zur Bestimmung des Selbstinduktionskoeffizienten von Solenoiden	45
Das Gesetz der elektrischen Durchschläge (R. Schroeder, Dr. Benischke, Walter und Voege)	45
Untersuchungen über den Uebergangswiderstand und die Beeinflussung größerer Funkenstrecken durch ionisierende Körper (Dr.-Ing. W. Voege)	48
Die Dämpfung von Kondensatorkreisen mit Funkenstrecke (P. Drude, Georg Rempp)	54
Endladungen über sehr kurze Funkenstrecken (Carl Kinsley)	59
Untersuchungen über den elektrischen Funken, besonders über die physikalischen Bedingungen für sein Erlöschen (John Koch)	62
Ueber die Veränderung der Kapazität von Kondensatoren mit der Temperatur (Terry)	63
Strahlung von Spulen (Eugen Nesper)	65
C. Untersuchungen über den Einfluß der Erde bei der drahtlosen Telegraphie (Dr. J. Sachs, Duddell und Taylor, Ll. Evans, Monckton, Eccles)	67
D. Abstimmungs- und Resonanzversuche	87
Die Untersuchungen von A. Slaby	87
Die Abstimmung in der drahtlosen Telegraphie (Dr. G. Eichhorn)	133
Untersuchungen über die Periode der Sendegebilde verschiedener Form (Tissot)	137

Digitized by Google

Seite
Resonanz in der drahtlosen Telegraphie (W. Pierce) 140
Die Abstimmung thermoelektrischer Wellenanzeiger (A. D. Cole) . . 140

E. Meßmethoden, Meßgeräte und Meßergebnisse 143
Eine neue Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten (D. Kalischer) 143
Neues Verfahren zur Bestimmung von Selbstinduktionskoeffizienten (W. Peuckert) 143
Die Verwendung des elektrolytischen Wellenanzeigers in der Brückenmethode (W. Nernst und F. von Lerch) 148
Messung der Absorption elektrischer Wellen (O. Berg) 148
Untersuchungen über die Eichung von Wellenmessern (P. Drude) . . 149
Untersuchungen über den Slabyschen Multiplikationsstab zum Messen der Wellenlängen (E. Gehrcke) 156
Methode zur Untersuchung von Wellenanzeigern (Greenleaf W. Pickard) 161
Das Cymometer von Fleming 164
Wellenmesser für drahtlose Telegraphie von Fleming 164

F. Wellenanzeiger und Untersuchungen über deren Wirkung 165
Der Entdecker des elektrolytischen Wellenanzeigers 165
Einfluß der Ionisation auf die Leitungsfähigkeit des Fritters (R. Thöldte) 166
Untersuchungen über den elektrolytischen Wellenanzeiger (Ferrié, W. R Carroll, Macku) 166
Der neue Fritter von Branly 172
Der Fritter von Massie 172
Der Wellenanzeiger von Murgas 173
Der Wellenanzeiger von J. Rodet 174
Der Wellenanzeiger von Stone 175
Der Wellenanzeiger von W. S Hogg 175
Der Glühlampenwellenanzeiger von Fleming 175
Heliumröhren als Wellenanzeiger (Ernst Dorn) 176

G. Neuerungen und Verbesserungen an den Einrichtungen für drahtlose Telegraphie 176
Einfacher Kondensator mit veränderlicher Kapazität (J. Müller) . . 176
Der neue Hochspannungskondensator von Boas 177
Der Lichtbogenunterbrecher von Ruhmer 178
Vorrichtung von Moore zur Erzeugung Hertzscher Wellen 178
Mc Nicols Empfangseinrichtung zur Demonstration der Wirkung verschiedener Wellenanzeiger 180
Neuer Empfangsapparat zur Aufzeichnung der einlangenden Nachrichten 181
J. Hettingers Schaltung zur maximalen Ausnutzung der Resonanzwirkung in den Empfängeranordnungen für drahtlose Telegraphie 182
Gerichtete drahtlose Telegraphie nach Dr. Ferdinand Braun 184
Das System der gerichteten drahtlosen Telegraphie von Professor Allesandro Artom 185
Das System der drahtlosen Telegraphie von Heinicke 192
Massies System der drahtlosen Telegraphie 194
Das System der drahtlosen Telegraphie von Murgas 198

Digitized by Google

Seite

Neuerungen an dem Systeme der drahtlosen Telegraphie von Marconi 201
Das System Telefunken 204
Demonstrationsapparate von Ruhmer 217
Tragbare Einrichtungen für drahtlose Telegraphie 218
Neuerungen an dem Systeme der drahtlosen Telegraphie von Fessenden 220
De Forests Funkenregulierung für die Sendeeinrichtungen der drahtlosen Telegraphie. 224
Das System der drahtlosen Telegraphie von Stone 225
Mussos Einrichtung zur Niederlegung der einlangenden Zeichen in Typenschrift 232
Teslas neueste Anordnung zur drahtlosen Uebertragung elektrischer Signale 237
Das System der drahtlosen Telegraphie von Orling-Armstrong . . . 243
H. Drahtlose Telephonie und sonstige Verwertung der Wellenentsendung 249
H. Moslers Beiträge zur drahtlosen Telephonie 249
Branlys Methode zur drahtlosen Uebertragung mechanischer Wirkungen 254
Ein einfacher Blitzaufzeichner (Alciatore) 254
Die Gewitterregistriervorrichtung von Turpain 256
Anwendung des Fritters als Schutzvorrichtung in der Telephonie (Steidle) 257

J. Erfahrungen im Betriebe 260
Bäume als Wellenfänger (Blake, Saltzmann, Schmidt, Seibt, Squier) 260
Funkentelegraphie in Südwestafrika 263

K. Schlußbemerkungen 265

Digitized by Google

A. Einleitung.

Der Zweck dieser fortlaufenden Zusammenstellungen, alle Neuerungen und Errungenschaften auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie festzuhalten und so dem Leser ein Bild über die Entwicklung dieses technischen Anwendungsgebietes zu geben, wurde bereits in „Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie II" eingehender erläutert.

Wie in der Einleitung zu den Fortschritten III erwähnt wurde, ist der Schwerpunkt der Forschungen zur Zeit mehr in die physikalischen Laboratorien verlegt, von welchen aus die Klärung aller noch nicht vollständig erkannten Erscheinungen schrittweise erfolgt. Da jedoch die Verhältnisse des praktischen Betriebes wesentlich verschieden von jenen sind, wie solche in den Laboratorien künstlich geschaffen werden müssen, lassen sich die Ergebnisse der Forschungsarbeit nicht unmittelbar für die Praxis nutzbar machen und bedarf es daher noch vieler mühsamer Versuchs- und Erfinderarbeit, um aus den gewonnenen Erkenntnissen Vorteil für den Betrieb ziehen zu können.

Es mußte dementsprechend auch hier dem physikalischen Teile ein breiterer Raum gewidmet werden; dabei dürfte vielleicht auffallen, daß die schon aus dem Jahre 1904 stammenden Untersuchungen von Abraham, Mandelstamm, Zenneck und Seibt erst hier Aufnahme fanden. Der bemessene Raum ließ jedoch deren Vorführungen in die Fortschritte III ohne lückenhaft zu werden nicht ermöglichen.

Epochemachende Neuerungen sind diesmal wenige zu verzeichnen, weil ja nunmehr die Grundlagen erkannt sind und daher den zu er-

Digitized by Google

strebenden Endzielen, die Richtfähigkeit der Wellen und die Entsendung ununterbrochener Wellenzüge zu ermöglichen, nur schrittweise zugesteuert werden kann. Bemerkenswert in dieser Richtung sind die Methoden zur Lenkung der Wellen von Allesandro Artom und von Dr. Ferdinand Braun, sowie der Lichtbogenunterbrecher von Ruhmer, da mit diesen die Lösung jener wichtigen Fragen angebahnt zu sein scheint.

Das Interesse, welches der drahtlosen Telegraphie so vielseitig entgegengebracht wird, läßt es nicht verwundern, daß in der Zwischenzeit auch wieder mehrere sogenannte Systeme der drahtlosen Telegraphie geschaffen wurden, wie die Systeme von Massie und Murgas und auch die bereits bestehenden Systeme eine große Zahl von Neuerungen aufzuweisen haben. Die beiden erwähnten neueren Systeme fußen auf den durch Marconi, Braun und Slaby gegebenen Grundlagen und beschränkt sich das Neue nur auf die besondere Ausgestaltung der Empfangsapparate und eine etwas geänderte Anordnung der Einrichtungen im allgemeinen.

Eine noch ungelöste Frage bezieht sich auf die Erdung der Sende- und Empfangsleiter. Eine Reihe von Untersuchungen spricht sich übereinstimmend dahin aus, daß die Anwendung eines elektrischen Gegengewichtes der unmittelbaren Erdung vorzuziehen ist. Im praktischen Betriebe wendet man aber die Erdung noch immer mit Vorliebe an und will damit günstigere Ergebnisse erzielen als mit dem Gegengewichte, benutzt daher letzteres nur dort, wo eine gute Erdung infolge der ungünstigen Bodenverhältnisse schwer herzustellen ist, oder die Verhältnisse ein rasches Aufstellen und Abbrechen der Einrichtung bedingen. Die Fortsetzung der einschlägigen Versuche unter Verhältnissen, welche den Bedingungen des praktischen Betriebes Rechnung tragen, dürfte jedoch auch hier bald die nötige Klärung bringen.

Zu erwähnen ist, daß bei den zu Tage getretenen Neuerungen vielfach wieder auf die sogenannten Leitungsmethoden zurückgegriffen wurde, wobei man sich jedoch die Wirkung nunmehr in anderer Weise zu erklären versucht und auch teilweise Wellenbewegung in der Erde annimmt. Zu diesen Methoden der Energieübertragung sind die im folgenden gleichfalls vorgeführten Einrichtungen von Nicola Tesla, Orling-Armstrong und von Hugo Mosler zu rechnen.

Der Lichttelegraphie und Lichttelephonie, wiewohl diese auch unter die Einrichtungen der drahtlosen Telegraphie zu rechnen wäre, wurde in dieser Zusammenstellung ebenso wie in den vorhergehenden nicht erwähnt, weil hier nur die auf rein elektrischer Fortpflanzung

Digitized by Google

von einer Stelle zur anderen beruhenden Methoden vorgeführt werden wollten. Außerdem erscheint der praktische Wert der lichtelektrischen Einrichtung wegen der geringen Uebertragungsentfernungen und der vielfachen Hindernisse, welche sich bei Eintritt von Nebelbildungen u. s. w. ergeben, viel zu gering, um diesen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Wenn in der vorstehenden Zusammenstellung, ebenso wie in den vorhergehenden auch vielfach Material herangezogen wurde, für welches der Nachweis der praktischen Brauchbarkeit aussteht, so dürfte dies entgegen einer zum Ausdrucke gebrachten Anschauung eher ein Vorteil als ein Nachteil sein, da es Zweck dieser Arbeit ist, über alles auf dem Gebiete Geschaffene, und seien es auch nur Erfinderideen, Auskunft zu geben, wodurch vielseitig vor Nacherfindungen bewahrt werden dürfte.

Die Ungleichmäßigkeit in der Behandlung der einzelnen Materien, wie solche gleichfalls gerügt wurde, findet ihre Begründung darin, daß die Zusammenstellung nur auf Grundlage der angeführten Literaturbelege erfolgen konnte, diesfalls aber vieles nur skizzenhaft vorgeführt ist, was natürlich in der Wiedergabe nur in gleicher Weise zum Ausdrucke kommen kann. Wollte alles dieses ausgeschieden werden, so wäre der Zweck der Arbeit verfehlt, da sich gerade unter diesen oft nur kurz behandelten Teilen doch so manches vorfinden dürfte, was zu neuem Schaffen Anregung gibt. Eine Ergänzung des Originales erscheint jedoch mit der Tendenz überhaupt nicht vereinbarlich und könnte nur zu Irrungen führen.

In Anlage und Aufbau wurde gegenüber den vorhergegangenen Arbeiten, auf welche sich auch hier vielfach berufen werden mußte, nichts geändert. Auch die bisher gebrauchten Abkürzungen wurden beibehalten und sollen im nachstehenden wiederholt werden:

Die drahtlose Telegraphie	= d. T.
Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie	= F. d. T.
„ „ „ „ „ „ „ „ II.	= F. d. T. II.
„ „ „ „ „ „ „ „ III.	= F. d. T. III.
Elektrotechnische Zeitschrift	= E. T. Z.
Annalen der Physik	= A. d. Ph.
Physikalische Zeitschrift	= Ph. Z.
L'Éclairage Electrique	= E. E.
Electrical Review	= E. R.
Electrical World and Engineer	= E. W.
Band	= Bd.
Seite	= S.

Digitized by Google

Alle jene Zeitschriften, die nur seltener in Betracht kommen, wurden, weil für diese der Gebrauch von Abkürzungen nur Erschwernisse für den Leser gebracht hätte, mit der vollen Bezeichnung angeführt.

B. Theorien und physikalisch theoretische Untersuchungen.

Eine neue Theorie über die Fritterwirkung. Dr. K. E. Guthe[1]) hat auf dem internationalen Elektrotechnikerkongreß zu St. Louis eine neue Theorie der Fritterwirkung entwickelt, die mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat, als einer der Erklärungsversuche von Lodge, Auerbach, Eccles, Branly, Shaw, Bose u. s. w. Um einen Vergleich dieser neuen Theorie mit den bisherigen Hypothesen zu ermöglichen, seien die letzteren vorerst kurz skizziert.

Lodge nimmt an, daß die feinen Metallteilchen des Fritters mit einer dünnen schlechtleitenden Oxydschicht überzogen sind, die unter dem Einflusse der elektrostatischen Anziehung teilweise durchbrochen wird, so daß sich die Metallteile, unter Bildung unendlich kleiner Funken, durch Zusammenschmelzen vereinigen. Abgesehen davon, daß sich unter dem Mikroskope ein solches Zusammenschmelzen nicht feststellen läßt, und eine Funkenbildung nur dann beobachtet wird, wenn die Erregung weit über jenes Maß hinausgeht, welches zur Erreichung der Frittwirkung nötig ist, läßt sich beispielsweise bei Kohlefrittern ein Zusammenschmelzen der kleinsten Teilchen überhaupt nicht annehmen. Diese Hypothese gibt auch darüber keine Aufklärung, daß eine leichte Temperaturerhöhung den Ursprungswiderstand des Fritters wiederherstellt, wogegen eine Abkühlung keine entsprechende Wirkung ausübt.

Aus dem Einflusse, welche Schallwellen auf den Widerstand des Fritters ausüben, schließt Auerbach, daß die elektrischen Schwingungen in den kleinen Teilchen mechanische Schwingungen hervorrufen, die Widerstandsänderung sich sonach auf mechanischem Wege vollzieht. Da aber der Widerstand des Fritters unter der Einwirkung elektrischer Schwingungen auch dann abnimmt, wenn die Späne in feste Dielektrika eingebettet sind und unter Umständen bei starker elektrischer Beeinflussung eine Erhöhung des Widerstandes eintritt, was nach dieser Annahme unmöglich wäre, erscheint auch diese Erklärung nicht stichhaltig.

Nach Eccles spielt die Orientierung der einzelnen Teilchen eine

[1]) The Electrician, 4. Nov. 1904.

Digitized by Google

wichtige Rolle und nimmt er an, daß zwischen den Enden der einzelnen Teilchen Brücken aus Metallstaub entstehen, die bei mechanischer Erschütterung wieder zusammenbrechen. Tissot stellte tatsächlich fest, daß eine durch eine magnetische Kraft hervorgerufene Orientierung die Empfindlichkeit des Fritters steigert, er konnte aber niemals eine solche Orientierung durch Eintritt der Frittung feststellen. Abgesehen davon läßt sich hiermit die Erscheinung der selbsttätigen Entfrittung nicht erklären.

Nach Branly soll sich die Natur des zwischen den Teilchen befindlichen Dielektrikums unter der Einwirkung elektrischer Wellen in dem Sinne ändern, daß sich dessen Leitfähigkeit erhöht. Da ein derartiger Einfluß auf die Dielektrika noch in keinem Falle beobachtet wurde, die Frittwirkung auch vollkommen unterdrückt wird, wenn der isolierende Ueberzug der Partikelchen nicht sehr dünn ist, und es ferner für das Eintreten der Leitfähigkeit vollständig gleichgültig zu sein scheint, ob die Späne sich im Vakuum, in atmosphärischer Luft oder in irgend einem anderen Gase befinden, erscheint diese Theorie höchst zweifelhaft.

Bose kommt auf Grund der Tatsache, daß einige Fritter statt einer Abnahme eine Zunahme des Widerstandes unter der Einwirkung elektrischer Wellen zeigen, andere, namentlich Kohlefritter, nach Aufhören der elektrischen Bestrahlung selbsttätig in den nichtleitenden Zustand zurückkehren, zur Annahme, daß die Metalle in zwei allotropischen Formen vorkommen, von welchen die eine den Strom gut, die andere dagegen schlecht leitet. Der Uebergang aus der einen in die andere Form soll nun durch die elektrischen Schwingungen herbeigeführt werden. Die mit der Umformung auftretende molekulare Spannung kann dabei unter Umständen so stark werden, daß eine plötzliche Rückkehr in die stabilere Form, oder eine selbsttätige Entfrittung eintreten kann. Da jedoch Eccles nachgewiesen hat, daß eine beständige Potentialdifferenz die gleiche Wirkung hervorruft, wie elektrische Schwingungen, erscheint insbesondere in Berücksichtigung dessen, daß die Wirkungsweise der selbstentfrittenden Fritter bei verschieden starker Erregung vielfach wechselt, die Annahme von zwei allotropischen Formen des Metalles die Frage nur zu komplizieren, statt sie zu lösen.

Guthes neue Theorie baut sich auf der Elektronentheorie auf. Nach dieser Theorie bewegen sich in den Metallen freie Elektronen nach jeder Richtung, welche sich nach J. J. Thomson nicht aus dem Metall entfernen, weil bei ihrem Austritt eine elektrostatische An-

Digitized by Google

ziehung von der Größe $\frac{\varepsilon^2}{4r^2}$ zwischen den Elektronen und dem Metalle stattfindet, wobei ε die Ladung des Elektrons und r dessen Abstand von der Oberfläche des Metalles bedeutet. Treffen jedoch elektrische Wellen auf das Metall, so wird die Neigung des Elektrons das Metall zu verlassen, durch ein starkes äußeres elektrostatisches Feld unterstützt, welches die kinetische Energie des Elektrons vergrößert. Hierdurch wird es den Elektronen ermöglicht, von dem negativ geladenen Metall auf die andere Seite überzutreten. Es kommt ein elektrischer Strom zu stande, dessen Träger die Elektronen sind. Hieraus erklärt sich auch, daß man bei einem selbst in längerem Gebrauche befindlichen Fritter keinen Uebergang von Metall feststellen kann. Sind einmal die Metalle infolge des Elektronenüberganges in molekulare Beziehung zueinander getreten, so hat eine Vermehrung der elektrischen Energie nur eine Vermehrung der Elektronenzahl im Gefolge, oder es nimmt die Stromstärke zu, die Spannung bleibt dagegen konstant.

Der Uebergang der Elektrizität ist von einem senkrecht zur Stromrichtung wirkenden Drucke begleitet, welcher alle etwa zwischen den Metallteilchen befindlichen Moleküle des Dielektrikums zur Seite schleudert, so daß ein ununterbrochener metallischer Leitweg entsteht. Hören die elektrischen Impulse auf, so kehren die Teilchen in der Regel nur durch Anwendung einer mechanischen Kraft in ihre ursprüngliche Lage zurück, es bleibt sonach die Leitfähigkeit ohne diese bestehen. Werden durch Klopfen u. s. w. die Elektroden getrennt, so verdichtet sich das Dielektrikum wieder an der Oberfläche des Metalles, auch kommen unter Umständen andere Punkte in gegenseitige Berührung und es stellt sich der ursprüngliche nichtleitende Zustand wieder her. Werden jedoch unmittelbar nach der Trennung die Metalle an den gleichen Punkten wieder zusammengeführt, so hat das Dielektrikum noch nicht Zeit gefunden, sich vollständig zu verdichten und bleibt daher der Widerstand noch gering. Hierdurch erklärt sich die bereits erwähnte Beobachtung von Shaw. In diesem Falle scheint eine Umkehrung des Stromes die Rückkehr der Elektronen zu begünstigen und nimmt Guthe als Grund hierfür elektrolytische oder chemische Vorgänge an.

Dieser Theorie widerspricht auch nicht das Verhalten erhitzter Metallpulver, die, wie bekannt, gute Leiter sind. Guthe erzielte durch Erwärmung von Einzelkontakten eine Verminderung des Widerstandes und ging die zum Eintritt des Frittens erforderliche kritische Spannung praktisch auf Null zurück. Durch Abkühlung kehrt der frühere Zu-

Digitized by Google

stand wieder zurück. Hier zeigt sich eine Aehnlichkeit mit einem anderen Vorgange, bei welchem es sich gleichfalls um Elektronenübergänge handelt, nämlich mit der durch Erhitzung der Kathode in einer Vakuumröhre erzielten Wirkung.

Bei Frittern, welche einen sehr hohen Widerstand haben, was als ein Charakteristikum der selbstentfrittenden Fritter ist, sind die sich berührenden Teile der Metallspänchen sehr klein und es können demgemäß verhältnismäßig nur wenige Elektronen übergehen. Es findet in solchen Fällen, namentlich wenn die Erregung sehr schwach ist, zwar ein Elektronenübergang statt, der entstehende Strom ist aber nicht stark genug, um die Moleküle des Dielektrikums zur Seite zu schleudern und dadurch eine dauernde Leitfähigkeit herzustellen. Da diese Erklärung nicht für alle Fälle der Selbstentfrittung ausreicht, nimmt Guthe an, daß der Elektronenübergang von einer Ionisation des umgebenden Gases begleitet wird, welche mit Aufhören der elektrischen Erregung verschwindet. Die Ionisation hängt nun von der aufgewendeten Energie ab und verringert bezw. vergrößert sich der Widerstand mit wachsender bezw. abnehmender E.M.K.

Bei gleichbleibender E.M.K. und kleinem Widerstande des äußeren Stromkreises kann die Abnahme der Potentialdifferenz im Fritter nach Herstellung des Stromes eine Rückbildung der Gasmoleküle zur Folge haben, worauf die Potentialdifferenz wieder zunimmt und der Strom von neuem ansteigt und so fort. Das System befindet sich sodann gerade an der Grenze der Frittwirkung. Periodische Aenderungen dieser Art können wie Ferrié und Hornemann beobachtet haben, zu musikalischen Tönen Anlaß geben, wie solche auch in Vakuumröhren auftreten.

Die vielfach beobachtete Verzögerung der Frittwirkung, die namentlich dann häufiger eintritt, wenn die erregende E.M.K. in der Nähe der kritischen Spannung liegt, erklärt sich hier einfach aus dem Zeitaufwand, welcher der schwache Erregerstrom erfordert, um eine ausreichende Ionisation herbeizuführen.

Die Einbuße an Empfindlichkeit, wie solche an manchen Frittern, nachdem sie einige Zeit gebraucht wurden, zu bemerken ist, läßt sich nicht in allen Fällen auf eine Zunahme der Oberflächenoxidation zurückführen, da beispielsweise nach Huth ein Paraffinöl enthaltender Fritter sich nach zwölfstündiger Ruhe erholte, und ein Luft als Dielektrikum enthaltender Fritter durch Zufuhr frischer Luft nahezu die volle Empfindlichkeit erhielt. Die bei Entladungsröhren beobachteten gleichartigen Erscheinungen lassen die Guthesche Theorie auch

Digitized by Google

auf diesen Vorgang anwenden. Bei Metallpulverfrittern macht sich die Erscheinung der Ermüdung besonders bemerkbar und erklärt sich dies einfach dadurch, daß eine große Zahl der Partikel bei der Frittwirkung nicht beteiligt ist, diese aber einen Teil der Ionen von dem Stromwege abdrängen.

Zur Theorie ungedämpfter elektrischer Schwingungen[1]). Im singenden Lichtbogen entstehen, wie es schon länger bekannt ist, ungedämpfte elektrische Schwingungen. Der Mechanismus dieser Schwingungen blieb trotz einschlägiger Untersuchungen umso mehr im unklaren, als es überhaupt unmöglich erscheint, ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen, indem die Energie in Form Joulescher Wärme zerstreut wird und sohin die entstandenen Schwingungen früher oder später ein Ende nehmen müssen.

Die Duddellschen Experimente zeigen jedoch, daß ungedämpfte Schwingungen dennoch existieren müssen. Die Theorien von Duddell. Janet und Granquist nehmen diese Existenz als ein Postulat an und suchen nach einer Ursache, welche die verlorene Energie wieder ersetzen könnte. Sie gelangen nun dahin, daß ungedämpfte Schwingungen dann entstehen, wenn $\frac{dv}{di} < 0$, wobei dv die momentane Aenderung der Spannung an den Bogenelektroden und di die momentane Aenderung des Stromes bedeutet.

Diese Theorie kann nun nach Ansicht des Verfassers S. Maisel nicht richtig sein und wird auch durch die Tatsachen widerlegt, indem singende Bögen beobachtet wurden, in welchen $\frac{dv}{di} > 0$ war. Auch wurde entgegen der Annahme der vorerwähnten Physiker bereits von Maisel und auch von Corbino nachgewiesen, daß die Schwingungen im singenden Lichtbogen gar nicht dem harmonischen Gesetze gehorchen. Für die Entwicklung einer Theorie dieser ungedämpften Schwingungen ist es besser, den Lichtbogen, bei welchem zufälligerweise die ungedämpften Schwingungen zum ersten Male beobachtet wurden, ganz beiseite zu lassen, da sich der Bogen, weil man von ihm noch zu wenig weiß, schlecht zu theoretischen Untersuchungen eignet.

Es ist daher ratsam, die Frage breiter zu fassen und als Ausgangspunkt einen Stromkreis, wie er in Fig. 1 dargestellt ist, anzunehmen. Der Leiter A B sei hier ein einfacher Leiter, auf den das

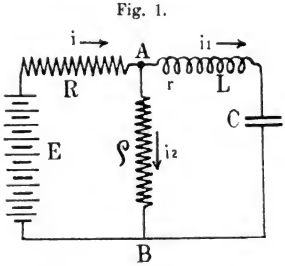
---

[1]) Phys. Z. 1905, Nr. 2. S. 38.

Digitized by Google

Ohmsche Gesetz Anwendung findet, jedoch mit dem Unterschiede von gewöhnlichen Leitern, daß er den Strom nicht unter allen Umständen zu leiten vermag, d. h. daß dessen Widerstand, wenn die Spannung an seinen Enden zu niedrig wird, plötzlich bis zur Unendlichkeit wächst. Dabei kann er zum Leitendwerden einer viel größeren Spannung bedürfen, als diejenige ist, bei der er zu leiten aufhört. Ein solcher Leiter läßt sich leicht vorstellen und läßt sich auch die erwähnte Bedingung in die Rechnung einführen und zwar durch die Annahme, daß im Leiter A B eine fiktive gegenelektromotorische Kraft existiert.

Fig. 1.



Bezeichnet man jetzt mit i die momentane Hauptstromstärke, mit i_1 die momentane Stromstärke im Kondensatorzweig, mit i_2 die momentane Stromstärke im Leiter A B, mit R, r und ρ die Widerstände der Hauptleitung, des Kondensatorzweiges und des Leiters A B, mit C und L die Kapazität und den Selbstinduktionskoeffizienten des Nebenschlusses, mit E die Spannung der Akkumulatorenbatterie, mit e die fiktive gegenelektrische Gegenkraft im Leiter A B, und mit υ den momentanen Wert der Spannung am Akkumulator, so gelangt man nach den gegebenen Ableitungen zu den beiden Formeln

$$\frac{\sqrt{C}}{\sqrt{L}} > \frac{E - e_m}{(E_1 - \upsilon) R} e, \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

$$\upsilon \geq E_1 - (U_{max} - E_1)\, e^{-\frac{M\pi}{2L\ell}}, \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

welche eine allgemeine Erklärung der Entstehung ungedämpfter Schwingungen ermöglichen.

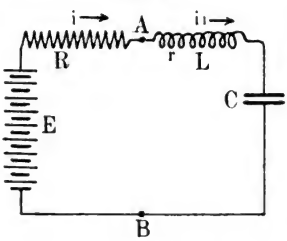
Es ist hier noch notwendig, darauf hinzuweisen, daß die Fig. 1 die Form der Fig. 2 annimmt, wenn die Spannung an den Enden des Leiters A B so weit abnimmt, daß der Widerstand dieses Leiters unendlich wird, da dann in diesem Falle dieser Leiter für die Stromvorgänge als nicht vorhanden angesehen werden kann.

Die Vorgänge der Entstehung ungedämpfter elektrischer Schwingungen lassen sich nun wie folgt darstellen: Wird angenommen, daß es für den Leiter A B (Fig. 1) eine Minimalspannung gibt, bei welcher er noch leitend ist, so entsteht, wenn im Stromkreise die Bedingung

Digitized by Google

der Gleichung (1) erfüllt ist, während des Ladens des Kondensators. im Stromkreise eine Unstetigkeit, die das Ueberladen des Kondensators bewirkt. Infolgedessen wird dem Kondensator während der Ladung von der Stromquelle so viel Energie zugeführt, daß bei der folgenden Entladung die Spannung am Kondensator viel weiter herabsinkt, als dies bei einem stetigen Stromkreise der Fall wäre. Ist die dabei entstehende Maximalspannung noch zu hoch um die Bedingung der Gleichung (2) zu erfüllen, so klingen die Schwingungen mehr oder minder rasch ab. Wird jedoch die Bedingung dieser Gleichung erfüllt, so können die einmal entstandenen Schwingungen nicht mehr aufhören. Im Falle des Gleichheitszeichens setzen sie sofort mit normaler Amplitude ein und dauern so lange an, als der Stromerzeuger Energie liefert. Im Falle des Ungleichheitszeichens gibt es vorerst eine Einstellungsperiode, nach deren Abfließen die Schwingungen wieder unendlich lange bestehen können.

Fig. 2.



Es wird sonach die Energie der Schwingungen nicht neu geschaffen, sondern von der Stromquelle geliefert, und gibt es in jeder Phase einer einzelnen Schwingung eine sogar recht starke Dämpfung. Die eintretende Unstetigkeit des Stromkreises gestattet aber, die von der Stromquelle gelieferte Energie völlig auszunützen und die Verluste zu decken.

Auf Grund der entwickelten Formeln lassen sich die Strom- und Spannungskurven im Leiter A B aufzeichnen. Solche gezeichnete Kurven ergaben, daß die Stromkurve sehr nahe mit der im singenden Bogen experimentell gefundenen Kurve übereinstimmt. Die Spannungskurven waren in beiden Fällen jedoch sehr voneinander verschieden, was sich auch aus den Eigenschaften des Bogens leicht erklären läßt.

Die Formel (1) bietet die Möglichkeit, das Verhältnis zwischen der Kapazität und der Selbstinduktion zu berechnen, und hat sich hierbei gezeigt, daß bei Einsetzen der Strombedingungen für den singenden Bogen das gleiche Verhältnis berechnet wurde, welches Duddell auf experimentelle Weise ermittelt hat.

Der Verfasser behält sich vor, noch Erweiterungen der Theorie und experimentelle Beweise für deren Richtigkeit zu erbringen.

Digitized by Google

Dr. Max Abrahams Theorie des an einen geschlossenen Sendekreis unmittelbar angeschlossenen Sendedrahtes[1]). Die Kapazität eines in sich geschlossenen Schwingungskreises sei C_0 dessen Selbstinduktion L_0, erstere sei in den Kondensatoren vereinigt, letztere auf die Verbindungsdrähte zwischen den Belegungen verteilt. Es lassen sich sodann quasistationäre Strömungen annehmen. Wird C_0 im absoluten elektrostatischen und L_0 im absoluten elektromagnetischen Maße, also in Zentimetern ausgedrückt und die eine Kondensatorbelegung mit der Erde und die andere mit dem Luftdrahte verbunden gedacht, so ist, wenn die Länge l des Luftdrahtes gleich einem Viertel der Wellenlänge des ungekoppelten Kreises angenommen wird

$$4l = \lambda_0 = 2\pi \sqrt{C_0 L_0}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Der Schwingungsvorgang bei Vernachlässigung der Dämpfung. Ist in einem Schwingungskreis die Dämpfung nicht so groß, um die Frequenz der Eigenschwingungen merkbar zu beeinflussen, so kann in erster Annäherung die Dämpfung vernachlässigt werden. Bei Vernachlässigung der Dämpfung läßt sich für die Bestimmung der Schwingungsfrequenz, sowie der Verteilung des Stromes und der Spannung längs des Luftdrahtes annehmen, daß die Schwingungen der Spannung an dem mit dem Luftdrahte verbundenen Belage der Leydenerflaschen nach der Gleichung verlaufen

$$V_0 = b_0 \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

worin τ die Dauer der Schwingung im Sendedrahte bedeutet. Wird V_0 in elektrostatischen und die Stromstärke im primären Kreise J_0 in elektromagnetischen Einheiten gemessen und bedeutet c die Lichtgeschwindigkeit im Aether, so erhält man

$$V_0 - \frac{L_0}{c} \cdot \frac{d\,.\,J_0}{dt} = 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Der resultierende primäre Wechselstrom ist sodann

$$J_0 = b_0 \frac{\lambda}{2\pi L_0} \sin \frac{2\pi t}{\tau}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

worin $\lambda = c\tau$ die gesuchte Wellenlänge bedeutet.

Der durch die wechselnde Ladung der Kapazitäten entstehende Strom (in elektromagnetischen Einheiten) ergibt sich aus

$$-\frac{1}{c} C_0 \frac{dV_0}{dt} = b_0 \frac{2\pi C_0}{\lambda} \sin \frac{2\pi t}{\tau}.$$

[1]) Ph. Z. 1904, 1. April.

Digitized by Google

Dieser Strom geht teilweise durch den primären Kreis und teilweise durch den Luftdraht. Der erstere Teil ist durch die Gl. (4) und der zweite Teil durch den Ausdruck

$$b_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} \left(\frac{2\pi C_0}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi L_0} \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

dargestellt.

Wird der Strom und die Spannung im Luftdrahte mit J bezw. V bezeichnet, so lassen sich diese an einem beliebigen Punkte z, dessen Wert zwischen o und l veränderlich ist, durch die Formeln darstellen

$$J = a \sin x \left(1 - \frac{z}{l}\right) \sin \left(\frac{2\pi t}{\tau}\right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

$$V = - \frac{a\,l}{C} \cos x \left(1 - \frac{z}{l}\right) \cos \left(\frac{2\pi t}{\tau}\right), \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

worin

$$x = \frac{2\pi l}{\lambda}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

C ist hierbei die Kapazität des Luftdrahtes und $\frac{C}{l}$ die Kapazität für die Längeneinheit des Drahtes. Es erfüllen sonach die Gl. (6) und (7) die Beziehungsgleichung

$$- c \frac{dJ}{dz} = \frac{C}{l} \frac{dV}{dt}.$$

An dem oberen Ende des Drahtes, also für $z = l$ befindet sich ein Knoten des Stromes. Das Potential an diesem Punkte ist

$$V_l = - \frac{a\,l}{C} \cos \frac{2\pi t}{\tau}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Wäre es möglich, die Wellenlänge λ des mit dem geschlossenen Schwingungskreise verbundenen Sendedrahtes gleich λ_0 d. i. der Wellenlänge des primären Kreises im nicht verbundenen Zustande zu machen, so müßte nach Gl. (1) und (8) $x = \frac{\pi}{2}$ werden und am Anschlußpunkte des Luftdrahtes ein Spannungsknoten ($V = o$) entstehen. Dies ist aber unmöglich, weil infolge der Koppelung die Spannung am unteren Luftdrahtende nach Gl. (2) veränderlich sein muß und folgert sich hieraus, daß die Schwingungsperiode des Luftdrahtes mit jener des Primärkreises nicht übereinstimmen kann.

Die Koppelung des Primärkreises mit dem Luftdrahte gibt zwei Gleichungen. Auf der einen Seite wird die Spannung am Anschluß-

Digitized by Google

punkte nach Gl. (7) für $z = 0$, der durch die Gl. (2) dargestellten Spannung der Kondensatorbelegung gleich sein, sohin

$$\frac{a\,l}{C} \cos x = -b_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Auf der anderen Seite muß die Stromstärke am Anschlußpunkte des Luftdrahtes sowohl durch die Gl. (5) als auch durch die Gl. (6) für letztere $z = 0$ dargestellt werden können und ist sonach

$$a \sin x = b_0 \left(\frac{2\pi C_0}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi L_0} \right) . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Gl. (11) durch Gl. (10) dividiert findet man:

$$\operatorname{tg} x = -\left(\frac{2\pi C_0}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi L_0} \right) \frac{l}{C} = \left(\frac{l\lambda}{2\pi C_0 L_0} - \frac{2\pi l}{\lambda} \right) \frac{C_0}{C}.$$

Bezeichnet man zur Abkürzung wie in Gl. 1

$$x_0 = \frac{2\pi l}{\lambda_0} = \frac{l}{\sqrt{C_0 L_0}} = \frac{\pi}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

und das Verhältnis zwischen Luftdraht- und Kondensatorkapazität d. i. das sogenannte Kapazitätsverhältnis mit α

$$\alpha = \frac{C}{C_0}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

so ergibt sich unter Berücksichtigung der Gl. (8)

$$\operatorname{tg} x = \frac{x_0^2 - x^2}{\alpha\, x} . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Diese transzendente Gleichung bestimmt die Schwingungsperioden des direkt gekoppelten Senders. In anderer Form wurde diese Formel bereits von Dr. G. Seibt entwickelt, doch unterließ es dieser, hieraus die für die drahtlose Telegraphie wichtigen Schlußforderungen zu ziehen.

Die Wurzeln der Gl. (14) lassen sich auf graphischem Wege leicht ermitteln. In den für die Praxis der Wellentelegraphie wichtigen Fällen weichen jedoch die Wellenlängen λ' und λ'' des gekoppelten Systemes von der Schwingungslänge $\lambda_0 = 4\,l$ des ungekoppelten Primärkreises nicht sehr weit ab, und gelangt man daher durch das folgende Näherungsverfahren zu einem Ueberblicke über den Schwingungsvorgang.

Schreibt man Gl. (14)

$$(x_0^2 - x^2) \operatorname{cotg} x = \alpha\, x,$$

Digitized by Google

berücksichtigt man ferner, daß nach Gl. (12) $x_0 = \frac{\pi}{2}$ ist und setzt man

$$x = \frac{2\pi l}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + \xi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

und nimmt an, daß ξ gegen $\frac{\pi}{2}$ so klein ist, daß Quadrate und höhere Potenzen von ξ vernachlässigt werden können, man sohin $\cos x = -\xi$, $\sin x = 0$ und $\operatorname{cotg} x = -\xi$ setzen darf, so wird

$$\left[\left(\frac{\pi}{2} + \xi\right)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2\right] \xi = \alpha \left(\frac{\pi}{2} + \xi\right).$$

Da nun α von der Ordnung ξ^2 ist, kann $\alpha\xi$ rechts und ξ^3 links weggelassen werden und ergibt sich sohin

$$\xi = \pm \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Es lassen sich demnach für ein hinreichend kleines Kapazitätsverhältnis die Wurzeln der Gl. (14) darstellen

$$x' = \frac{\pi}{2} + \sqrt{\frac{\alpha}{2}}, \qquad x'' = \frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \quad . \quad . \quad (16a)$$

Die anderen, den Oberschwingungen des Luftdrahtes entsprechenden Wurzeln, kommen für die drahtlose Telegraphie nicht in Betracht.

Es ist nun vorteilhaft, an Stelle von x die Schwingungszahl n in 2π Sekunden einzuführen

$$n = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{c}{l} x. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Dann sind die Schwingungszahlen der beiden langsamsten Eigenschwingungen des direkt gekoppelten Sendedrahtes

$$n' = \frac{c}{l} x', \qquad n'' = \frac{c}{l} x''. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

Das arithmetische Mittel dieser Schwingungszahlen

$$n_0 = \frac{n' + n''}{2} = \frac{c}{l}\left(\frac{x' + x''}{2}\right) = \frac{c}{l}\frac{\pi}{2} = \frac{c}{l} x_0 = \frac{2\pi c}{\lambda_0} \quad (19)$$

ist gleich der Schwingungszahl des ungekoppelten Primärkreises. Die halbe Differenz dieser Zahlen

$$\nu = \frac{n' - n''}{2} = \frac{c}{l}\sqrt{\frac{\alpha}{2}} = \frac{c}{l}\sqrt{\frac{C}{2C_0}} \quad . \quad . \quad (20)$$

Digitized by Google

ist um so geringer, je kleiner die Luftdrahtkapazität C im Verhältnisse zur Kondensatorkapazität C_0 des Primärkreises ist. Die von dem Grafen Arco auf experimentellem Wege gefundenen Ergebnisse sind hierdurch theoretisch bestätigt und formuliert.

Mit Hilfe der für x gefundenen Werte läßt sich nun auch die den Eigenschwingungen des Senders entsprechende Verteilung des Stromes und der Spannung im Luftdrahte bestimmen. Cos $x = -\xi$ und nach Gl. (10) und Gl. (16)

$$a = \pm b_0 \frac{C}{l} \sqrt{\frac{2}{\alpha}}.$$

Wird zur Abkürzung gesetzt

$$\eta_1 = \frac{C}{l} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} = \frac{1}{l} \sqrt{2 C C_0} = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2C}{L_0}}, \quad . \quad . \quad (21)$$

so stellen die Ausdrücke

$$a' = -b_0' \eta_1 \quad \text{und} \quad a'' = -b_0'' \eta_1$$

nach Gl. (6) die diesen Eigenschwingungen entsprechenden Stromamplituden im Luftdrahtanschluß dar, da in diesem Falle sin $x = 1$ zu setzen ist.

Die beiden Schwingungen überlagern sich und ergibt sich demnach der resultierende Strom mit

$$J_{z=0} = \eta_1 [b_0' \sin(n' t) - b_0'' \sin(n'' t)]. \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Für die Spannung am freien Luftdrahtende erhält man nach Gl. (9) und Gl. (21)

$$V_l = \sqrt{\frac{2}{\alpha}} [-b_0' \cos(n' t) + b_0'' \cos(n'' t)] \quad . \quad . \quad (23)$$

und für die Spannung am unteren Ende des Drahtes nach Gl. (2)

$$V_0 = b_0' \cos(n' t) + b_0'' \cos(n'' t). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

Der für die Spannung am Luftdrahtende maßgebende Faktor $\sqrt{\frac{2}{\alpha}}$ der Gl. (23), dessen reziproker Wert nach Gl. (20) die Schwingungsdifferenz bestimmt, führt zu der Folgerung, daß die Spannung am Luftdrahtende umso größer wird, je geringer die Schwingungsdifferenz ist.

Für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie ist es jedoch weniger wichtig, hohe Spannungen am Luftdrahtende, als möglichst

Digitized by Google

große Stromamplituden oder Intensitätsbäuche am Luftdrahtanschlusse zu erreichen, da die Amplituden der vom Sender ausgehenden Wellen dieser Stromamplitude unmittelbar proportional sind. Die Länge des Luftdrahtes ist hierbei von keinem Einfluß auf die Stromamplitude. Die Vergrößerung der wirksamen Länge des Luftdrahtes wird durch das Anwachsen der Wellenlänge kompensiert, wogegen die Intensität des elektrischen Feldes der Wellen proportional der zeitlichen Aenderung der Stromintensität ist. Es ist sonach zur Vergrößerung des elektrischen Feldes der Wellen die durch Gl. (21) definierte Größe η möglichst groß zu machen, d. h. die Luftdrahtkapazität bei konstant zu haltender Wellenlänge im ungekoppelten Primärkreise zu vergrößern und die Selbstinduktion des Primärkreises zu verkleinern.

Vermittels eines ungedämpften Resonators lassen sich, wenn die Schwingungsdifferenz v nicht zu klein ist, die vom Sender ausgestrahlten Teilwellen n' und n'' voneinander trennen. Je kleiner dagegen v ist, desto eher wird die Dämpfung der Sender- und Resonatorschwingungen die beiden Teilwellen abflachen und bei genügend kleinem v sogar zum Verschwinden bringen, so daß beide Wellen vom Empfänger wie eine einzige aufgenommen werden.

Für diesen Fall ist es zweckmäßig, die Formeln (22) bis (24) so umzugestalten, daß sie die Verschmelzung der beiden Teilschwingungen zu einer einzigen von der Schwingungszahl n_0 und schwebender Amplitude zum Ausdruck bringen. Zu Beginn des Schwingungsvorganges ($t = 0$) ist der Sender stromlos und die Potentialdifferenz der Kondensatorbelegungen V_0 ist, wie die Spannung am Luftdrahtende gleich dem Funkenpotentiale B_0 und es wird

$$b_0'' + b_0' = B_0 \quad \text{und} \quad b_0'' - b_0' = B_0 \sqrt{\frac{\alpha}{2}}.$$

An Stelle der hieraus resultierenden Werte

$$\left| \begin{array}{l} b_0'' = \frac{B_0}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{\alpha}{2}}\right) \\ b_0' = \frac{B_0}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{\alpha}{2}}\right) \end{array} \right.$$

welche dem angenommenen Anfangszustande entsprechen, kann man, wenn man sich mit einer annähernden, für geringe Schwingungsdifferenzen zutreffenden Rechnung begnügt $b_0'' = b_0' = \frac{B_0}{2}$ setzen und wird dann

Digitized by Google

$$\begin{cases} J_{(\text{für } z=0)} = B_0 \eta \sin(v t) \cos(n_0 t) \; . \; . \; . \; . & (25) \\ V_l = B_0 \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \sin(v t) \sin(n_0 t) \; . \; . \; . \; . & (26) \\ V_0 = B_0 \cos(v t) \cos(n_0 t) \; . \; . \; . \; . \; . \; . & (27) \end{cases}$$

Die Schwingungszahl (n_0 in 2π Sekunden) ist jene des ungekoppelten Primärkreises oder jene des direkt erregten Marconisenders.

Die Anzahl der Perioden (Schwebungszahl, $2v$ in 2π Sekunden) bestimmt sich aus den Gl. (19) und (20) mit

$$\frac{2v}{n_0} = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (28)$$

Zu Beginn des Vorganges ist Energie nur im Primärkreise vorhanden, im Verlauf der Schwebung geht sie auf den Luftdraht über und ist nach einer halben Schwebung, sonach zur Zeit

$$\tau = \frac{\pi}{2v} = \frac{\pi}{n_0} \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} = \tau_0 \frac{\pi}{8} \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \quad . \; . \quad (29)$$

die ganze Energie aus dem Primärkreis in den Sendedraht übergegangen. Von da würde sie nach einer pendelartigen Bewegung zur Gänze wieder zurückschwingen, wenn nicht durch die Ausstrahlung ein Teil verloren gegangen wäre.

Strahlungsdämpfung. Um die Menge der durch den Sender ausgestrahlten Energie zu bestimmen, ist es notwendig, die beiden Teilwellen zu einer in der Zeit veränderlichen Amplitude zu vereinigen. In Wirklichkeit überlagern sich die Felder der beiden Wellen ganz gut, dies trifft aber nicht für die ausgestrahlte Energie in gleicher Weise zu, nachdem die Strahlung proportional dem Quadrate der Intensität des resultierenden Feldes ist.

Die Stromamplitude im Strombauche ist nach Gl. (25)

$$A = B_0 \eta \sin(v t), \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (30)$$

Die mittlere Ausstrahlung in der Sekunde ist gegeben durch

$$S = \frac{c Q^2}{4} \cdot 2{,}44. \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (31)$$

Das logarithmische Dekrement der Dämpfung, hervorgerufen durch die Eigenschwingung des Sendedrahtes, wird durch die Integrierung der Maxwellschen Gleichungen bestimmt.

Digitized by Google

Dieses Dekrement der Grundwelle ist

$$\sigma = \frac{2{,}44}{\log\text{nat}\left(\frac{2l}{\rho}\right)}, \quad \ldots \ldots \quad (32)$$

worin ρ den Radius des Luftdrahtquerschnittes darstellt.

Diese für die einfache Marconischaltung gültigen Formeln (31) und (32) sind nun auch hier zu verwenden, da die Stromverteilung bei geringer Schwingungsdifferenz nur wenig von dem unmittelbar erregten Sender Marconis abweicht. Da die auf die Längeneinheit des Luftdrahtes entfallende Selbstinduktion $\left(\frac{L}{l}\right) = 2 \log\text{nat}\left(\frac{2l}{\rho}\right)$ gleich dem reziproken Wert der Kapazität für die Längeneinheit ist, hat man:

$$\frac{C}{l} = \frac{l}{L} = \frac{1}{2 \log\text{nat}\left(\frac{2l}{\rho}\right)} \quad \ldots \ldots \quad (33)$$

und geht die Formel (32) über in

$$\sigma = 2{,}44 \frac{2C}{l}. \quad \ldots \ldots \quad (34)$$

Obgleich nun die Formel (33) mit der in der Elektrostatik gefundenen Kapazität eines Drahtes von der Länge $2l$ (Luftdraht und sein Spiegelbild) übereinstimmt, so ist es unmöglich, sie auf elektrostatische Betrachtungen zu stützen. Die Verteilung der Ladung und die Entstehung eines Feldes sind ganz andere, wenn es sich um schnelle Schwingungen handelt, als bei einer statischen Ladung. Diese Formel führt indessen zu Werten der Energie des Feldes eines Sendedrahtes, welche mit dem Ausdruck (34) für die Strahlung den exakten Wert des Dekrements der Dämpfung gibt.

Die Stromamplitude des einfachen Marconisenders verringert sich infolge der Dämpfung in der Zeit t auf den Bruchteil $e^{-\frac{\sigma t}{T_0}}$. Bei dem gekoppelten Sender befindet sich die Energie vorher in dem primären Kreis und überträgt sich nur nach und nach auf den Sendedraht. Die maximale Stromamplitude im Sendedraht zur Zeit $T = \frac{\pi}{2r}$, welche ohne Dämpfung nach Gl. (30) gleich $B_0 \eta$ wäre, wird durch die Strahlung auf den Wert $e^{-\frac{\sigma T}{2 T_0}}$ herabgemindert. Bei dem gekoppelten Sender findet sich tatsächlich im Sendedrahte nur während der Zeit T einer halben Periode Energie vor. Es kann sohin nur die Hälfte der

Digitized by Google

Energie ausgestrahlt werden und ist daher als Dämpfungsfaktor $\frac{\sigma}{2}$ an Stelle des Wertes σ für den einfachen Marconisender einzusetzen. Unter Berücksichtigung der Gl. (29) findet man die maximale Stromamplitude mit $A_m = B_0 \eta e^{-\frac{\sigma \pi}{16}\sqrt{\frac{2}{a}}}$, oder wenn man σ aus Gl. (34) einsetzt, Gl. (21) berücksichtigt und zur Vereinfachung $\frac{\pi}{8} \cdot 2{,}44 = f$ setzt mit

$$A_m = B_0 \eta e^{-f\eta}. \quad \ldots \ldots \quad (35)$$

Die Maximalamplitude der Welle ist proportional dieser maximalen Stromamplitude. Für ein gegebenes Entladungspotential erhält man die größtmögliche Amplitude bei der direkten Kopplung durch die Wahl eines Wertes von η, bei welchem der Ausdruck $\eta e^{-f\eta}$ ein Maximum wird. Nach

$$\frac{d}{d\eta}(\eta e^{-f\eta}) = e^{-f\eta}(1 - f\eta)$$

tritt dieses Maximum dann ein, wenn

$$\eta_m = \frac{1}{f} = \frac{8}{\pi \cdot 2{,}44} \quad \ldots \ldots \quad (36)$$

wird. Der korrespondierende Wert von A_m ist

$$A_m = \frac{B_0}{f}. \quad \ldots \ldots \quad (37)$$

Nach Gl. (21) ist das Verhältnis der primären Selbstinduktion und der Kapazität des Luftdrahtes für dieses Maximum

$$\frac{L_0}{C} = \frac{8}{\pi^2} f^2 = \frac{(2{,}44)^2}{8}$$

oder wenn L_0 wie vorhin in Zentimeter, C hingegen in Mikrofarad gemessen wird

$$L_0 = 6{,}7 \cdot 10^5 C. \quad \ldots \ldots \quad (38)$$

Wenn man daher für einen gegebenen Luftdraht von der Kapazität C (in Mikrofarads) die Maximalamplitude der entsendeten Wellen so viel als möglich vergrößern will, muß die Selbstinduktion nach (Gl. 38) definiert werden.

Die Abschwächung der Amplituden im Verhältnis zu ihrem Höchstwert beträgt nicht mehr als 10 v. H., wenn sich L_0 innerhalb der Grenzen $3 \cdot 10^5 C$ und $2 \cdot 10^6 C$ bewegt

$$3 \cdot 10^5 C < L_0 < 2 \cdot 10^6 C. \quad \ldots \ldots \quad (38a)$$

Digitized by Google

Will man eine Verringerung der Amplituden um 18 v. H. zugestehen, so sind die Grenzen

$$2 \cdot 10^5 C < L_0 < 2{,}7 \cdot 10^6 C. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (38\,b)$$

In den Apparaten für die Sendung mit einem einzigen Sendedraht läßt sich die Selbstinduktion jedoch kaum auf den Wert herabdrücken, welcher den Bedingungen für die Höchstamplitude entspricht. Wenn man jedoch die Dämpfung vernachlässigt, so ist die vorhergehende festgestellte Regel immer wertvoll, da für eine gegebene Wellenlänge mit der geringsten Selbstinduktion und der größtmöglichen Kapazität im Primärkreise gearbeitet werden soll.

Die vorhergehenden Betrachtungen finden auch auf Sendegebilde mit mehreren Luftdrähten Anwendung, da, wie Drude gezeigt hat, ein solches Sendegebilde gleichwertig einem einfachen Drahte von bestimmtem Querschnitt ist.

Alle anderen Ursachen der Dämpfung wurden hier nicht in Betracht gezogen. Unter diesen sind es hauptsächlich der Widerstand der Funkenstrecke und die Verluste in den Kondensatoren, welche niemals nutzbringend gemacht werden können und welche daher für Zwecke der drahtlosen Telegraphie möglichst herabzudrücken sind.

L. Mandelstamms Theorie des Braunschen Senders[1]). Dr. Ferdinand Braun[2]) entwickelte eine Theorie für den Fall der unmittelbaren Kopplung, wobei er jedoch zu einer Hypothese Zuflucht nahm, welche nur für sehr lose Kopplung zutreffend ist. Er nimmt nämlich an, daß in dem Sendedraht eine Welle von der gleichen Periode entwickelt wird, wie in dem geschlossenen Kreise. In gleicher Weise studierte Dr. G. Seibt[3]) die direkte Kopplung, jedoch ohne die Dämpfung zu berücksichtigen. In beiden Fällen erscheint ein offener mit einem geschlossenen Kreise gekoppelt.

Max Wien[4]) behandelte die rein induktive Kopplung und beziehen sich seine Berechnungen auf zwei geschlossene Kreise, sohin auf ein System, welches zwei verschiedene Grade der Wirkung zeigt. Es ergab sich nach diesen Arbeiten ein Unterschied zwischen der direkten oder galvanischen und der induktiven oder elektromagnetischen Kopplung. Nimmt man jedoch für den Fall der direkten Kopplung an, daß das sekundäre System geschlossen ist, so gelangt man zu den-

[1]) Ph. Z. Bd. 5, S. 245.
[2]) A. d. Ph. Bd. 8, S. 208.
[3]) E. T. Z. 1902, S. 315.
[4]) A. d. Ph. Bd. 8.

Digitized by Google

selben Gleichungen wie bei der induktiven Kopplung, vorausgesetzt, daß man den Widerstand des gemeinsamen Teiles der beiden Kreise vernachlässigt, was auch praktisch zulässig ist.

J. Zenneck[1]) hat auch gezeigt, daß in Wirklichkeit kein prinzipieller Unterschied zwischen diesen beiden Kopplungsarten besteht.

L. Mandelstamm suchte nun in Verfolg dieser Arbeiten diese Behauptung zu bestätigen und auf den allgemeinen Fall irgend einer beliebigen Kopplungsart zu erweitern.

Er betrachtet einen beliebig gekoppelten Sender unter der Annahme, daß die Dämpfung eine sehr geringe sei. Dies führt wieder auf die Annahme, daß die gesamten Widerstände von einem Faktor k abhängen, welcher im Verhältnis zur Einheit sehr klein ist und dessen höhere Potenzen vernachlässigt werden können. Er beschränkt sich hierbei fast ausschließlich auf den Fall der festen Kopplung, nachdem die lose Kopplung von Zenneck (s. o.) bereits studiert wurde.

Unter diesen Bedingungen ergibt sich das Gesetz, daß die Dauer der Schwingungen und deren Amplituden unabhängig von der ersten Potenz von k sind und sie demnach berechnet werden können, wenn $k = 0$ gesetzt wird.

Bezeichnet man (Fig. 3) mit c die Kapazitäten, mit p die Selbstinduktionen und mit $i_1, i_2 \ldots, i_z \ldots i_m$ die Ströme in der ersten, zweiten, z^{ten}, m^{ten} Drahtspule, so erhält man für jeden Stromkreis m eine bestimmte Gleichung, die sich für das ganze System wie folgt ausdrücken lassen.

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{2i_1}{c} + p\frac{\delta^2 i_1}{\delta t^2} - \frac{i_2}{c} = 0\\
-&\frac{i_1}{c} + \frac{2i_2}{c} + p\frac{\delta^2 i_2}{\delta t^2} - \frac{i_3}{c} = 0\\
&- - - - - - - - - - - - - - -\\
-&\frac{i_{z-1}}{c} + \frac{2i_z}{c} + p\frac{\delta^2 i_z}{\delta t^2} - \frac{i_{z+1}}{c} = 0\\
-&\frac{i_{m-1}}{c} + \frac{i_m}{c} + p\frac{\delta^2 i_m}{\delta t^2} = 0
\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (I)$$

setzt man

$$i_z = P \sin z\beta \cos nt, \quad \ldots \quad (1)$$

worin β der Bedingung entspricht

$$\cos\beta = 1 - \frac{pcn^2}{2}, \quad \ldots \quad (2)$$

[1]) Ph. Z. Bd. 4, S. 656.

Digitized by Google

so bestätigen die aus der Gl. (I) bestimmten Werte von i_1 bis i_z die Gleichungen (1) bis auf die letzte (H. v. Helmholtz, Vorlesungen über theoretische Physik III). Um auch die letzte Gleichung von (1) zu beglaubigen, ist

$$\beta = \frac{2s+1}{2m+1}\pi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

zu setzen, worin

$$s = 1, 2, 3, \ldots$$

wird. Der Wert von n, aus den Gl. (2) und (3) bestimmt, gibt

$$n = \frac{2}{\sqrt{pc}} \sin \frac{1}{2}\left(\frac{2s+1}{2m+1}\right)\pi. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Nimmt s alle Werte zwischen 1 und $m-1$ an, so erhält man m Schwingungen, welche m Graden der Freiheit des Systems entsprechen. Für $s = m$ werden alle $i = 0$, so daß keine neue Anzahl der Schwingungen entstehen kann. Für $s > m$ wiederholen sich die Werte von n.

Setzt man an Stelle von c und p die Gesamtkapazität C und die Selbstinduktion P des Systemes, was sich durch $C = mc$ und $P = mp$ ausdrückt, so erhält man

$$n = \frac{2m}{\sqrt{PC}} \sin \frac{1}{2}\left(\frac{2s+1}{2m+1}\right)\pi. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4\,a)$$

Wird angenommen, daß die Gesamtkapazität C und die Gesamtselbstinduktion P sich in einem einzigen Kreise befinden, in welchem Falle $m = 1$ wird, so nimmt die Formel (4 a) die Form an

$$n = \frac{1}{\sqrt{PC}}.$$

Bei der weiteren Annahme, daß die Selbstinduktion und die Kapazität vollkommen gleichmäßig längs eines Drahtes verteilt ist, was einem Wert für $m = \infty$ entspricht, wird

$$n = \frac{\pi}{2\sqrt{PC}}.$$

Für irgend einen beliebigen Wert von m nimmt die Formel der Grundschwingung (4 a) die Form an

$$n = \frac{\pi}{2\sqrt{PC}}\left(\frac{4m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{4m+2}\right).$$

Der Ausdruck in der Klammer strebt bei wachsendem m der Einheit zu und unterscheidet sich schon für $m = 10$ nur mehr sehr wenig von

Digitized by Google

der Einheit. Dies besagt, daß man mit einem Systeme, welches 10 geschlossene Kreise umfaßt, in Bezug auf die Grundschwingung die gleiche Wirkung erhält wie mit einem offenen Systeme, welches die gleiche Kapazität und Selbstinduktion enthält.

Setzt man den Wert von β aus Gl. (3) in Gl. (1) ein, so schreibt sich diese

$$i_z = \sin \frac{z\,(2\,s+1)\,\pi}{2\,m+1} \cos n\,t$$

und zeigt dies, daß die Intensitäten nach dem Sinugesetze vom Nullpunkte (Erdungspunkte) ausgehend, abnehmen.

Für $m = \infty$ wird

$$i_x = \sin \frac{x\,(2\,s+1)}{2\,l}\,\pi \cos n\,t,$$

worin x die Entfernung vom Null- oder Erdungspunkte und l die Länge des Drahtes bezeichnet.

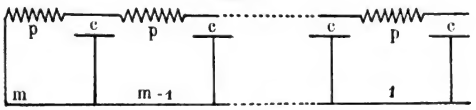
Die Spannung V_z an den Enden eines Kondensators z ist gleich

$$V_z = \frac{i}{c\,n} = \frac{i_z - i_{z+1}}{c\,n} = 2\,\frac{\sin \frac{\beta}{2} \cos\left(z+\frac{1}{2}\right)\beta}{c\,n}.$$

Für die Grundschwingung befindet sich sonach das Maximum der Spannung am freien Ende ($z = l$).

Aus dem Vorhergehenden folgt, daß nach dem Schema (Fig. 3) m zusammengekoppelte geschlossene Kreise, wenn m hinreichend groß

Fig. 3.



ist, vom Gesichtspunkte der Dauer der Schwingungen, sowie der Verteilung des Stromes und der Spannung aus, gleichwertig mit einem einzigen Sendedrahte sind.

Nimmt man jedoch statt eines offenen Systemes ein einziges in sich geschlossenes System von gleicher Kapazität und gleicher Selbstinduktion, so ist die Anzahl der Schwingungen annähernd halb so groß wie in dem Falle des offenen Systemes.

Seien nunmehr zwei gekoppelte Systeme, deren primäres geschlossen, das sekundäre hingegen offen ist, wie dies Fig. 4 zeigt, in Betracht gezogen.

Digitized by Google

Es seien hier:

c und p die Kapazität und die Selbstinduktion der geschlossenen Kreise 1, 2, 3, . . .;

L_1, C_1 die Selbstinduktion und Kapazität des primären Kreises;

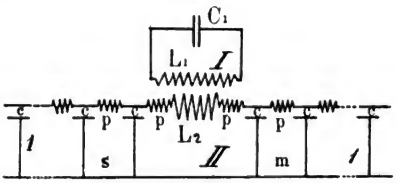
L_2 die Selbstinduktion der sekundären Wicklung;

$\mathfrak{M}$ der Koeffizient der wechselseitigen Induktion;

$(m+1)\,p$, $(m+1)\,c$ die Selbstinduktion und die Kapazität des rechts vom primären System gelegenen Teiles;

$(s+1)\,p$, $(s+1)\,c$ die Selbstinduktion und die Kapazität des links gelegenen Teiles.

Fig. 4.



Für die rechts und links gelegenen Kreise kann, wenn vom ersten Kreise bis zu $(m-1)\,c$ und $(s-1)\,c$ ausgegangen wird, die Gl. (1) Anwendung finden und erhält man:

Für den rechten Teil

$$i_z = P_m \sin z\beta \cos n t$$

und für den linken Teil

$$i_z = P_s \sin z\beta \cos n t,$$

wobei

$$\cos\beta = 1 - \frac{c p n^2}{2}$$

und P_m und P_s beliebig sein können.

Bezüglich der Stromkreise I, II; m und s (Fig. 4) ergeben sich die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned}
&L_1 \frac{\partial^2 J_1}{\partial t^2} + \mathfrak{M} \frac{\partial^2 J_2}{\partial t^2} + \frac{J_1}{C_1} = 0\\
&L_2 \frac{\partial^2 J_2}{\partial t^2} + \mathfrak{M} \frac{\partial^2 J_1}{\partial t^2} + \frac{2 J_2}{c} - \frac{i_s}{c} - \frac{i_m}{c} = 0\\
&p \frac{\partial^2 i_m}{\partial t^2} + \frac{2 i_m}{c} - \frac{i_{m-1}}{c} - \frac{J_2}{c} = 0\\
&p \frac{\partial^2 i_s}{\partial t^2} + \frac{2 i_s}{c} - \frac{i_{s-1}}{c} - \frac{J_2}{c} = 0
\end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad \text{(II)}$$

Digitized by Google

Nimmt man nun als Hypothese an, daß m und s im Verhältnisse zur Einheit sehr groß sind, so gibt die Formel (2) unter diesen Bedingungen

$$\beta = n \sqrt{p c}.$$

Setzt man ferner voraus, daß

$$J_1 = A \cos n t$$
$$J_2 = B \cos n t,$$

so schreibt sich die Gl. (1) für diese beiden Fälle

$$i_m = P_m \sin m \beta \cos n t$$
$$i_s = P_s \sin s \beta \cos n t.$$

Die Gl. (II) reichen nun aus, um n, Q, B, P_m und P_s zu bestimmen. Insbesondere ergibt sich aus den zwei letzten Gleichungen von (II) unter der Annahme, daß m und s im Verhältnisse zur Einheit sehr groß sind

$$P_m = \frac{B}{\sin m \beta}$$

$$P_s = \frac{B}{\sin s \beta}$$

und man erhält sonach

$$\frac{J_2}{c} - \frac{i_m}{c} = \frac{i_m - i_{m-1}}{c}$$

$$= \frac{B}{\sin m \beta} \cos m \beta \,.\, \frac{\beta}{c} \cos n t = \sqrt{\frac{p}{c}}\, n B \cot m \beta \cos n t,$$

$$\frac{J_2}{c} - \frac{i_s}{c} = \frac{i_s - i_{s-1}}{c}$$

$$= \frac{B}{\sin s \beta} \cos s \beta \,.\, \frac{\beta}{c} \cos n t = \sqrt{\frac{p}{c}}\, n B \cot s \beta \cos n t.$$

Durch Einsetzen dieser Werte in die ersten zwei Gl. (II) erhält man

$$\left.\begin{aligned} A\left(\frac{1}{C_1} - L_1 n^2\right) - \mathfrak{M} B n^2 = 0 \\ A \mathfrak{M} n^2 + (L_2 n^2 - f)\, B = 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad \text{(III)}$$

worin

$$f = n \sqrt{\frac{p}{c}} \,(\cot m n \sqrt{p c} + \cos s n \sqrt{p c}).$$

Wachsen m und s bis zu $+\infty$ an und bedeutet C die Kapazität für die Längeneinheit und l und l_1 die Längen der zur rechten und

Digitized by Google

linken Seite des primären Systemes gelegenen Teile, so nimmt der Ausdruck für f folgende Form an

$$f = n \sqrt{\frac{L}{C}} \left(\cot l_1 n \sqrt{LC} + \cos l n \sqrt{LC}\right).$$

In Bezug auf die Werte von n erhält man nun aus den Gl. (II) und (III) folgende transzendentale Gleichung

$$n^2 (\mathfrak{M}^2 - L_1 L_2) + L_1 n f - \frac{f}{n C_1} + \frac{L_2 n}{C_1} = 0. \quad . \quad . \quad (5)$$

Wird $\mathfrak{M}^2 = L_1 L_2$, so erhält man

$$\frac{1}{n C_1} - L_1 n = \frac{L_2 n}{C_1 f}$$

oder

$$\frac{1}{L_1 n} - n C_1 = \frac{L_2}{L_1} \frac{n}{f}$$

und setzt man den Wert von f ein

$$\frac{1}{L_1 n} - C_1 n = \frac{L_2}{L_1} \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \frac{\sin (n l \sqrt{LC}) \sin (n l_1 \sqrt{LC})}{\sin n (l + l_1) \sqrt{LC}}. \quad (5a)$$

Bezeichnet man mit $F(n)$ und $F_1(n)$ die beiden Glieder dieser Gleichung, so wird

$$F(n) = F_1(n).$$

Und man hat

$$F(0) = +\infty,$$

$$F\left(\frac{1}{\sqrt{C_1 L_1}}\right) = 0,$$

$$F(+\infty) = -\infty.$$

Das Verhalten von $F_1(n)$ für die positiven Werte von n ist immer eintönig

$$F_1(0) = 0,$$

$$F_1\left(\frac{\pi}{(l + l_1)\sqrt{LC}}\right) = +\infty.$$

Wenn n weiter anwächst, wird

$$F_1 = -\infty$$

und wächst in eintöniger Art bis

$$F_1\left(\frac{\pi}{l\sqrt{LC}}\right) = 0, \qquad l > l_1.$$

Digitized by Google

Nimmt man weiters an, daß

$$\frac{1}{\sqrt{C_1 L_1}} < \frac{\pi}{l\sqrt{LC}},$$

was sich im Falle einer symmetrischen elektrischen Erregung ereignet, so ist die Eigenschwingungszahl des primären Stromkreises viel kleiner als jene des symmetrischen sekundären Sendekreises.

Sind diese Bedingungen erfüllt, so ziehen sich aus der Gl. (5a) folgende qualitative Schlüsse.

1. In der Zwischenzeit

$$\frac{\pi}{l\sqrt{LC}} > n > 0$$

bestehen zwei reelle Wurzeln von (5a), welchen zwei Grundschwingungen entsprechen.

2. Eine dieser Schwingungen ist sehr tief, die andere viel schärfer wie die tiefe und überhaupt die schärfste unter den Eigenschwingungen beider Systeme.

3. Ersetzt man die Funktion $F_1(n)$ durch eine andere Funktion $F_2(n)$, so daß

$$[F_{2(n)}] \gtrless [F_{1(n)}]$$

für jeden Wert von n ist, und welche überdies das gleiche eintönige Fortschreiten wie $F_1(n)$ hat, so wird der Unterschied in der Zahl der Schwingungen dieser beiden Grundschwingungen noch viel größer, bezw. viel kleiner, wie die korrespondierenden Eigenschwingungen.

Aus dieser letzten Folgerung ergibt sich weiters, daß man ebenfalls zu dem gleichen qualitativen Ergebnisse gelangt, welches man durch die Aenderung der Kopplung erreicht, wenn man den Luftdraht unter sonst gleichen Verhältnissen an verschiedenen Stellen erregt. Es entspricht dies der festesten symmetrischen Erregerkopplung, wenn die Funktion $F_1(n)$ durch das Maximum (für $l = l_1$) hindurchgeht, also wenn

$$F_1(n) = \frac{1}{2}\frac{L_2}{L_1}\sqrt{\frac{C}{L}}\,\text{tang}\, n\, l\sqrt{CL},$$

wobei $l + l_1$ konstant gehalten werden.

Die Gl. (5a) erhält für diesen Sonderfall die Form

$$\frac{1}{L_1 n} - C_1 n = \frac{1}{2}\frac{L_2}{L_1}\sqrt{\frac{C}{L}}\,\text{tang}\, n\, l\sqrt{CL}.$$

Digitized by Google

Liegt der Sendedraht an Erde, so hat man [1])

$$\frac{1}{L_1 n} - C_1 n = \frac{L_2}{L_1} \sqrt{\frac{C}{L}} \operatorname{tang} n l \sqrt{C L}.$$

Die Erdung des Sendedrahtes beim Sender von Braun ist demnach nicht analog der Anordnung eines symmetrischen Drahtes und entspricht vielmehr einer sehr festen Kopplung.

Zur Bestimmung der Stromverteilung entlang der beiden Drähte, wird die Gl. (I) zu Hilfe genommen, welche in Bezug auf den rechten Teil des Kreises

$$i = \frac{B \sin x n \sqrt{L C}}{\sin l_1 n \sqrt{L C}} \cos n t$$

und für den linken Teil des Kreises

$$i_x = \frac{\beta \sin x n \sqrt{L C}}{\sin l n \sqrt{L C}} \cos n t$$

ergibt.

Direkte oder galvanische Kopplung. Fig. 5 stellt den allgemeinen Fall dar. Man erhält genau dieselben Gleichungen wie im vorhergehenden Falle. Die Gl. (II) behält ihre Form bei, wenn L_1 die Selbstinduktion von $\alpha\,\beta\,\gamma$ und L_2 die Selbstinduktion von $\delta\,\beta\,\varepsilon$ und $\mathfrak{M}$ die Selbstinduktion des gemeinsamen Teiles von $L_1\,L_2$ bezeichnet. Die direkte Kopplung ist so auf den Fall der induktiven Kopplung zurückgeführt. Dies ist jedoch nur dann gültig, wenn man von dem Widerstande gänzlich absieht, was für die erste Annäherung ebenso zulässig ist, wie für die Berechnung der Schwingungszahlen und der Amplituden.

Fig. 5.

Die direkte Kopplung läßt sich sonach als einen besonderen Fall der induktiven Kopplung betrachten, für welchen $\mathfrak{M} \leq L_1$ ist.

Die direkte Kopplung gewährt den Vorteil, daß, um den gleichen Kopplungsgrad zu erhalten, weniger Drahtwindungen in den Luftdraht eingeschaltet werden müssen, wie bei der induktiven Kopplung, weil in dem letzteren Falle die Beziehung $L_1\,L_2 = \mathfrak{M}^2$ in praktisch genügender Weise nicht erfüllt werden kann.

---

[1]) G. Seibt s. S. 29.

Digitized by Google

Für die Aufstellung der Gl. (II) wurde angenommen, daß der Strom in L_1 und L_2 quasistationär sei, was gerechtfertigt erscheint, da die Drahtspulen nur eine sehr geringe Kapazität haben.

Die Gl. (5a) besitzt eine unbegrenzte Zahl rationeller Wurzeln, welche Schwingungen höherer Ordnung (harmonischen Schwingungen) entsprechen. Bestimmt man aus dieser Gleichung die Zahl der Schwingungen, so kann man mit Benützung der Gl. (III) das Verhältnis der Amplituden und hierauf in erster Annäherung die Werte von

$$z \ (i = e^{zt} \sin \ldots)$$

nach der Formel

$$z = -\frac{1}{2} \frac{w_{11} A_1^2 + 2 w_{12} A_1 B_1 + \ldots}{p_{11} A_1^2 + 2 p_{12} A_1 B_1 + \ldots}$$

berechnen, welche sich auf den allgemeinen Fall bezieht (s. Routh Dynamics II, 242).

Geht man auf den praktischen Fall eines Sendedrahtes über und bezeichnet mit w_1 den Widerstand des primären Kreises und mit w_2 den Widerstand des sekundären Kreises für die Längeneinheit, so erhält man, wenn man den Widerstand von $\beta \delta \varepsilon$ und jenen der Spule L_2 vernachlässigt, die Formel

$$z = -\frac{w_1 A^2 + \frac{w^2}{l}\left(\int_0^l \sin n x \sqrt{LC} \, . \, dx\right)^2 . B^2}{-\frac{1}{2} L_1 A^2 + 2 \mathfrak{M} A B + L_2 B^2 + \frac{L}{l}\left(\int_0^l \sin n x \sqrt{LC} \, . \, dx\right)^2 . B^2}.$$

A und B werden aus dem aus Gl. (III) gezogenen Verhältnisse $\frac{A}{B}$ bestimmt.

Georg Seibt. Vergleich der Sender für drahtlose Telegraphie mit direkter und induktiver Kopplung[1]).

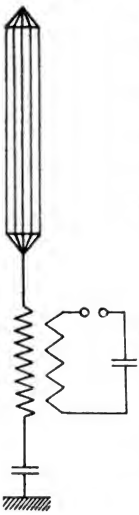
1. Methode zur Berechnung der Eigenschwingungen. Vernachlässigt man die Dämpfung der Schwingungen, was für die erste Annäherung zulässig ist, so kann man sowohl für die Spannungs-, als auch Stromänderungen sinoidalen Verlauf annehmen und die in der Wechselstromtechnik sehr verbreitete symbolische Methode anwenden. Diese Methode gewährt den Vorteil, daß die Gleichungen mit jenen des Gleichstromes ähnlich werden. Man hat dann stets ebenso viele Gleichungen, als notwendig sind, um für einen gegebenen Punkt die Spannung und den Strom zu bestimmen. Durch Ausscheiden ihrer Werte erhält man die Gleichung, welche die Eigenschwingung des

[1]) Ph. Z. 1904, 1. August.

Digitized by Google

Systemes ergibt. Man erhält hierbei eine transzendente Gleichung, wenn die Kapazität und die Selbstinduktion als verteilt angesehen werden. Die Schwierigkeit der Lösung dieser Gleichung läßt sich auf zweierlei Weise umgehen. Man erhält entweder deren Wurzeln auf graphischem Wege oder man beschränkt sich darauf, die Grundwelle zu betrachten und die Kapazität und Selbstinduktion als konzentriert anzusehen. Die erste Methode wurde für die Behandlung des Falles der direkten und die zweite für die Behandlung des Falles der induktiven Kopplung angewendet. Für den Vergleich der beiden Kopplungsarten wird hingegen bloß die zweite Methode gebraucht, welche vom mathematischen Standpunkte aus viel einfacher ist und mehr mit den praktischen Bedingungen übereinstimmt; weil in der Mehrzahl der Ausführungsformen des Sendegebildes (Käfig-, Fächer-, Kegel- oder Zickzackform) der größte Teil der Kapazität sich an der Spitze des Gebildes findet. In dem besonderen Falle, wo eine dünne Kabelschnur durch einen Ballon oder Drachen in der Höhe erhalten wird, ist die Kapazität nahezu gleichmäßig verteilt, jedoch ein wenig größer in der Nachbarschaft der Erde.

Fig. 6.



Die angewendete Methode zur Berechnung der Frequenz ist nicht vollkommen exakt, weil in einem zusammengesetzten Systeme zwei Elemente lose oder unvollkommen gekoppelt und in Resonanz sind. Die Verteilung des Stromes hängt hier daher wesentlich von der Dämpfung ab. Aber in diesem Falle ist auch die Deformation der ursprünglichen Schwingung ebenso schwach, wie die Methode weniger genau ist. Man kann daher von der Frequenz eines nicht gekoppelten Systemes ausgehen. Es wäre jedoch unter diesen Voraussetzungen nachteilig, die Dämpfung bei Berechnung der Amplituden zu vernachlässigen.

2. Schwingungsfrequenz. a) Des induktiv gekoppelten Senders (Fig. 6). Nach der gewöhnlichen Schreibweise hat man die folgenden Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} E_1 + i\,\omega\,L_1 J_1 + i\,\omega\,M J_2 &= 0 \\ E_2 + i\,\omega\,L_2 J_2 + i\,\omega\,M J_1 &= 0 \\ J_1 &= i\,\omega\,C_1 E_1 \\ J_2 &= i\,\omega\,C_2 E_2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (1)$$

Digitized by Google

woraus sich ergibt

$$\omega^4 - \omega^2 \frac{C_1 L_1 + C_2 L_2}{C_1 C_2 (L_1 L_2 - M^2)} + \frac{1}{C_1 C_2 (L_1 L_2 - M^2)} = 0$$

und

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{2 C_1 C_2 (L_1 L_2 - M^2)} [C_1 L_1 + C_2 L_2] \mp \sqrt{(C_1 L_1 - C_2 L_2)^2 + 4 C_1 C_2 M^2}}. \quad (2)$$

Für den Fall der Resonanz $C_1 L_1 = C_2 L_2 = C L$ erhält man, $\mathfrak{M}^2 = x^2 L_1 L_2$ setzend

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL} \cdot \frac{1+x}{1-x^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

und für die Wellenlänge

$$\lambda = 2\pi v \sqrt{CL \cdot \frac{1-x^2}{1+x}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Wird mit λ_0 die Wellenlänge des nicht gekoppelten Kreises bezeichnet, so ist die Maximalwelle

$$\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1+x}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

und die Minimalwelle

$$\lambda_2 = \lambda_0 \sqrt{1-x}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Der Unterschied zwischen der schnellsten und der ursprünglichen Schwingung ist daher ein wenig größer, als jener zwischen der langsamsten und der ursprünglichen Schwingung. Dieser Unterschied verschwindet umsomehr, je loser die Kopplung wird.

Zwischen diesen drei Wellen besteht nun die einfache Beziehung

$$\lambda_0^2 = \frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Die Formeln (5) und (6) geben nun eine Methode um den Kopplungsfaktor experimentell zu bestimmen. Werden diese drei Wellen eines Senders gemessen, so läßt sich x^2 aus einer der folgenden Gleichungen bestimmen

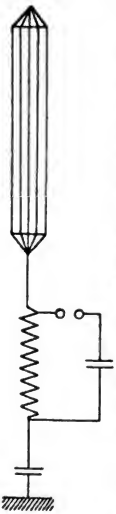
$$\left.\begin{aligned} x^2 &= \left(\frac{\lambda_1^2}{\lambda_0^2} - 1\right)^2 \\ x^2 &= \left(1 - \frac{\lambda_2^2}{\lambda_0^2}\right)^2 \\ x^2 &= \frac{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}{\lambda_1^2 + \lambda_2^2} \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Die Anwendung dieser Methode in der Praxis ist sowohl für den Sender als auch für den Empfänger sehr zu empfehlen, welcher Art

Digitized by Google

auch die Kopplung sein möge. Der Empfänger ergibt dann die besten Resultate, wenn dessen Kopplung die gleiche ist, wie jene des Senders. (Die Kapazität des letzteren kann als in Serie mit der Kapazität des Luftdrahtes verbunden gedacht werden. Diese beiden zusammen bilden die mit C_2 zu bezeichnende Kapazität. Die beste Uebereinstimmung der Sekundären wird erreicht, wenn die Schwingungsperiode des Luftdrahtes gleich jener der sekundären Spule und des Erdkondensators ist. Der Knoten der Spannung befindet sich dann am oberen Ende der Spule.)

Fig. 7.



Es ergeben sich hierbei aber große praktische Schwierigkeiten und zwar: 1. Die Kreise in Bezug auf die Wellenlänge und den Kopplungsgrad in Uebereinstimmung zu bringen erfordert eine große Geschicklichkeit des Ingenieurs, welcher mit den Schwingungsvorgängen von Grund aus vertraut sein muß. 2. Das beste Mittel, sich gegen die durch die anderen Kreise hervorzurufenden Störungen zu sichern, besteht bis heute noch in der Anwendung der losen Kopplung beim Sender und Empfänger (Wien). Aber man verringert auch auf diese Weise die Tragweite. Um die Fernwirkung und Sicherheit der Uebertragung zu erreichen, gelangt vorerst die feste und sodann die lose Kopplung zur Anwendung und müssen die Aenderungen in beiden Stationen gleichzeitig durchgeführt werden und auch die gleichen sein. Es lassen sich jedoch Mittel finden, diese Schwierigkeiten zu verringern.

Der Kopplungsgrad eines durch Induktion erregten Senders läßt sich auf drei verschiedene Weisen ändern und zwar: 1. Durch Verstellung der Induktionsrollen gegeneinander; 2. durch Veränderung des Verhältnisses zwischen Kapazität und Selbstinduktion des Luftdrahtes und 3. durch Aenderung des Verhältnisses zwischen der Kapazität des Erdkondensators und der Selbstinduktion der sekundären Spule. Eine kleine Selbstinduktion und eine große Kapazität des Luftdrahtes im Vereine mit einer großen Selbstinduktion und kleinen Kapazität im Erregerkreise und dem unteren Teile des sekundären Systemes führen zu einer festen Kopplung.

Der Kopplungsfaktor X^2 kann als Funktion des Verhältnisses zwischen den Kapazitäten und den Selbstinduktionen erhalten werden.

Teilt man zu diesem Zwecke die Sekundärrolle in zwei Teile, deren erster L''_2 einer ideal fest gekoppelten Spule und deren zweiter

Digitized by Google

einer Spule entspricht, welche ganz außerhalb des Feldes der Primärspule liegt, so ist der Koeffizient der wechselseitigen Induktion

$$\mathfrak{M}^2 = L_1 L_2'' = x^2 L_1 L_2$$

und der Kopplungsfaktor

$$x^2 = \frac{L_2''}{L_2}.$$

Der gekoppelte Teil der sekundären Selbstinduktion steht dann in einem festen Verhältnisse zur primären Selbstinduktion. Sei nun

$$a = \frac{L_2''}{L_1}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (9)$$

so ist dieses Verhältnis genau das gleiche wie jenes der Quadrate der Windungszahlen der Selbstinduktionen, welche als vollkommen fest gekoppelt angesehen werden können. Man hat daher

$$x^2 = a \frac{L_1}{L_2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (10)$$

oder

$$x^2 = a \frac{C_2}{C_1} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (11)$$

b) Des direkt gekoppelten Senders (Fig. 7). Bezeichnet man die Stromstärken in der primären Spule mit J_{1L}, in dem Kondensator mit J_{1C} und in dem Luftdraht mit J_2, sei ferner L_2' die Selbstinduktion des letzteren, so erhält man folgende Beziehungen:

$$\left.\begin{aligned} E &= i\,\omega\, L_1 J_{1L} \\ E &= -\,i\, J_{1C} \frac{1}{\omega\, C_1} \\ E &= i\, J_2 \left(\omega\, L_2' - \frac{1}{\omega\, C_2}\right) \\ J_{1L} &+ J_{1C} + J_2 = 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \quad (12)$$

und man bekommt

$$\omega^4 - \omega^2 \frac{C_2 L_2' + C_2 L_1 + C_1 L_1}{C_1 C_2 L_1 L_2'} + \frac{1}{C_1 C_2 L_1 L_2'} = 0. \quad (13)$$

Man findet auch hier die zwei Schwingungen, von welchen bereits im Jahre 1901 gesprochen wurde.

Nimmt man nun an, die beiden Stromkreise seien in Resonanz. Da eine genaue Definition dieses Zustandes für die direkte Kopplung bisher nicht erfolgt ist, läßt sich diese, einem Gebrauche folgend, wie folgt definieren: Die Resonanz besteht dann, wenn die Länge des Luft-

Digitized by Google

drahtes genau gleich einem Viertel der Wellenlänge des ungekoppelten Primärkreises ist, also wenn

$$l = \frac{\lambda_0}{4} \quad \text{oder} \quad C_2 L_2' = C_1 L_1.$$

Der Schließungsbogen der Kapazitäten gehört hier nicht bloß zum primären, sondern auch zum sekundären Systeme. Setzt man daher

$$C_1 L_1 = C_2 (L_2' + L_1) = C_2 L_2,$$

so bekommt die Gl. (13) folgende Form

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{C_2 L_2'} \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \frac{L_1}{L_2'}}}\right)}$$

oder für

$$\frac{1}{C_2 L_2'} = \frac{1}{CL}\left(1 + \frac{L_1}{L_2'}\right)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL}\left(1 + \frac{L_1}{L_2'}\right)\left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \frac{L_1}{L_2'}}}\right)}. \quad (14)$$

Setzt man nun

$$1 + \frac{L_1}{L_2'} = \frac{1}{1 - \rho^2},$$

so wird

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL} \cdot \frac{1 \mp \rho}{1 - \rho^2}}, \quad \ldots \ldots \quad (15)$$

worin

$$\rho^2 = \frac{L_1}{L_1 + L_2'}$$

wird, und da $L_1 + L_2' = L_2$, das ist der gesamten sekundären Selbstinduktion, ist

$$\rho^2 = \frac{L_1}{L_2}$$

oder auch

$$\rho^2 = \frac{C_2}{C_1}.$$

3. Vergleich der beiden Systeme. Wie man sieht, sind die Gl. (3) und (15), welche die Schwingungsperiode der beiden Systeme darstellen, von der gleichen Form. An Stelle von ρ in der Gl. (15) hat man x in der Gl. (3). Alle Schlußfolgerungen, welche sich aus 2.

Digitized by Google

über die induktive Kopplung ziehen lassen, sind daher auch für die direkte Kopplung anwendbar.

x ist gleich p wenn $a = l$ ist, oder wenn bei der induktiven Erregung der Teil der festgekoppelten sekundären Selbstinduktion gleich der Selbstinduktion des primären Kreises ist. Der Uebergang einer Montage auf die andere kann in der Weise durchgeführt werden, daß die primäre und sekundäre Spule auf den gleichen Kern aufgewickelt werden. Sodann ist es gestattet, wenn die beiden Spulen nicht von dem gleichen Strome durchflossen sind, die Isolation, welche die beiden Drähte trennt, wegzunehmen und die beiden Spulen zu einer einzigen zu verbinden, wodurch keine Aenderung der Spannungs- und Stromverteilung hervorgerufen wird.

Der Sender mit direkter Kopplung wird ebenso auf einen besonderen Fall der induktiven Kopplung zurückgeführt.

Theoretisch ist die induktive Erregung der direkten Erregung überlegen. Man kann tatsächlich mit der gleichen Windungszahl in der primären bei induktiver Kopplung eine viel festere Kopplung erzielen und die in den Kapazitäten aufgespeicherte Energie viel vollkommener ausnützen. Aber dieses System hat den praktischen Nachteil, daß die Uebereinstimmung viel schwieriger herzustellen ist. Man vermeidet fast allgemein die Kapazität des Erregerkreises zu ändern. Bei der direkten Kopplung läßt sich die Selbstinduktion schrittweise fortschreitend mit Hilfe eines Läufers ändern, wie man will, wogegen man bei der induktiven Kopplung dies nur durch Abschneiden von Stücken des Drahtes erreichen kann. Denn sobald man einen Läufer für die Regulierung der Selbstinduktion einführt, verursacht der Stromzuführungsdraht und der notwendige größere Abstand der Windungsdrähte eine bedeutende Streuung, welche die Vorteile der festen Kopplung wieder aufhebt.

Vom Standpunkte des Konstrukteurs und des die Einrichtung Bedienenden gibt es wieder eine große Zahl von besonderen Umständen, die für und gegen diese beiden Systeme sprechen. Für Stationen, bei welchen die Einstellung im Laufe des Betriebes nicht geändert wird, ist nach Seibts Ansicht die induktive Kopplung vorzuziehen.

Theorie und Praxis in der drahtlosen Telegraphie. J. Zenneck[1]). Seit Wien in klarer Weise die Hauptpunkte für die Anwendung gekoppelter Systeme in der drahtlosen Telegraphie entwickelt hat, sind mehrere Studien erschienen, welche einschlägigen

[1]) Ph. Z., 1. Oktober 1904.

Digitized by Google

Spezialfragen gewidmet wurden. Eine bestimmte Zahl dieser Arbeiten ist von Wichtigkeit, weil sie, wenn auch die gefundenen Ergebnisse für die drahtlose Telegraphie entweder nicht anwendbar oder auch bereits bekannt sind, viel zur Klärung der Hauptfragen beitragen. Wenn in dieser Arbeit, in welcher diese Studien in Bezug darauf, ob sie etwas Nützliches oder Neues für die Praxis der drahtlosen Telegraphie bringen, untersucht werden, ist es doch nicht die Absicht, sie zu kritisieren. Es besteht im Gegenteil der Wunsch, auf der einen Seite die Aufmerksamkeit auf die wirklichen Bedingungen der drahtlosen Telegraphie zu lenken, welche, wie es scheint, noch wenig bekannt sind, und auf der anderen Seite die Ergebnisse dieser Studien praktisch verwertbar zu machen.

1. M. Huth (Dissert., Rostock 1904) studierte im Laboratorium verschiedene wichtige Fragen der drahtlosen Telegraphie. Aber seine Anordnungen entsprachen nicht allen Bedingungen, welchen man in der Praxis begegnet. (Die Beziehung zwischen der Ausstrahlung und der Länge des Luftdrahtes für die Sendung und den Empfang wurde in einem Zimmer mit einem Luftdrahte, welcher zwischen 267 und 50 cm wechselte, durchgeführt und betrug die Entfernung zwischen Sender und Empfänger 220 cm. Der Einfluß des Erdanschlusses auf den Sender wurde mit der folgenden Anordnung studiert: Die Länge des Luftdrahtes betrug 1 m. Die zweite Funkenkugel war mit dem Erddrahte durch einen senkrechten Draht von 1 m Länge verbunden. Die Erdverbindung selbst bestand aus einem 6 m langen Kupferdraht, welcher in eine 1 m lange in die Erde versenkte Messingröhre endigte.) Es lassen sich sonach aus diesen Untersuchungen keine Schlüsse für die praktische Anwendung ziehen.

2. Drude studierte teilweise theoretisch, teilweise experimentell die elektrischen Eigenschaften und die Eigenschwingungen von Drahtspulen in Verbindung mit geraden Drähten und aufgehängten metallischen Platten, um zu ermitteln, ob diese für die Konstruktion von gegenseitig abgestimmten Sendern und Empfängern der drahtlosen Telegraphie verwendet werden können.

Da früher ein Unterschied von 5 v. H. zwischen der beobachteten und der berechneten Wellenlänge gefunden wurde, sagt Drude folgendes: „Wenn man in der drahtlosen Telegraphie mit genügend langen Drähten arbeitet, welche entsprechend weit von den Gebäuden entfernt sind, kommt man den theoretischen Bedingungen für die freien Schwingungen eines Drahtes sehr nahe.“ Betrachtet man jedoch die Konstruktion der Masten für bleibende Stationen der drahtlosen

Digitized by Google

Telegraphie mit ihren vielen Verspannungsseilen, so sieht man sofort, daß man von diesen theoretischen Bedingungen noch sehr weit entfernt ist. Bei den Schiffsinstallationen ist die Sache noch viel schlimmer und ist jede Berechnung ausgeschlossen, da es genügt, den Finger einem metallischen Maste zu nähern, um einen Funken von mehreren Millimetern herauszuziehen.

Anderseits macht sich das Bedürfnis, die Eigenschwingungen eines Sendesystemes auf rechnerischem Wege bestimmen zu können, nicht besonders fühlbar. Die Resonanzmethode von Bjerkneß, durch welche auf experimentellem Wege die Frequenz irgend eines nicht zu stark gedämpften Systemes gefunden werden kann, ermöglicht es, zu jeder Zeit rasch und bequem die Schwingungsperiode eines Sendesystemes bestimmen zu können.

3. Die gewonnenen Ergebnisse am Schlusse seiner Studien zusammenfassend sagt Drude folgendes: „Der Vorteil, welchen die Luftdrähte des Senders gewähren, sind eine Verlängerung der Periode und vor allem eine Verstärkung der Ausstrahlung. Die verdickten Sendegebilde entsprechen insbesondere diesen beiden Bedingungen. Die mehrfachen Luftdrähte sind demnach insbesondere vorteilhaft, weil sie bei bedeutender Oekonomie des Gewichtes, die verstärkten Sendegebilde vollkommen ersetzen. Ein aus mehreren Drähten bestehendes Sendegebilde in Käfigform wirkt wie ein einfacher Draht von viel größerem Radius.“ Es ist jedoch aus dieser Studie von Drude kein Beweis dafür zu finden, daß ein mehrdrahtiges Sendegebilde, vom Gesichtspunkte der Ausstrahlung, einem einfachen Drahte von größerem Radius gleichwertig sei.

Das Verhältnis zwischen einem eindrahtigen und mehrdrahtigen Sendegebilde, soferne die Strahlung in Betracht kommt, ist folgendes:

Die Kapazität eines mehrdrahtigen Senders ist für gleiche Längen viel größer, wie die eines eindrahtigen Senders. Nach den Arbeiten von Wien ist leicht zu ersehen, daß die Stromamplitude des sekundären Systemes der Sendeeinrichtung für eine gegebene Spannung annähernd

$$\sqrt{C_1 C_2}$$

proportional ist, wobei C_1 die Kapazität des primären, C_2 die des sekundären Systemes darstellt.

Nach Abraham (s. S. 14) ist es die Stromamplitude, welche für die Ausstrahlung eines senkrechten Senders maßgebend ist. Hieraus ergibt sich, daß, wenn alle Bedingungen gleich sind, für eine gleiche Spannungsamplitude im primären Systeme der absolute Wert der

Digitized by Google

Ausstrahlung bei Mehrfachdrähten viel größer sein muß, als für einen einfachen Draht.

Ferner ist bei mehrdrahtigen Sendegebilden die Größe der ausgestrahlten Energie im Verhältnisse zur eingelieferten Energie oder das Dekrement der Strahlung viel größer, als bei einem einfachen Drahte. Dies ergibt sich auch aus den Messungen von Brandes. Es gestattet sohin das mehrdrahtige Sendegebilde eine viel bessere Ausnützung der primären Energie.

4. In seiner letzten Studie[1]) beschäftigt sich Drude mit der Frage, wie die Primäre eines Teslatransformators für feste Kopplung zu konstruieren sei, um die besten Ergebnisse zu liefern. Er kommt zu dem Schlusse, daß die Kapazität so groß als möglich und die Selbstinduktion so klein als möglich sein soll, was praktisch besagt, daß die Primäre nur aus einer Windung bestehen und die Streuung so gering als möglich sein soll.

Diese Bedingungen sind schon lange bekannt und werden bei dem System Braun schon seit 1899 erfüllt. Es wurde aber gefunden, daß es vorteilhaft sei, an Stelle einer Windung in der Primären deren mehrere anzuwenden und sie parallel zu schalten. Diese Anordnung wurde auch von Marconi und Fleming im Jahre 1901 angenommen. Daß es schlecht ist, in der Primären mehrere Windungen in Serie zu verwenden, weiß man schon sehr lange.

5. Drude fand, daß für eine Teslaanordnung der Kopplungsgrad $K' = 0{,}6$ das Maximum der Spannung im sekundären Systeme gibt

$$K'^2 = K_0^2 - \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)^2}{2\pi},$$

worin K_0^2 der Kopplungsfaktor und $\gamma_1\ \gamma_2$ die logarithmischen Dekremente des primären und sekundären Systems sind.

Es wurde nun schon lange festgestellt, daß die Wirkung eines Teslatransformators oder eines Braunschen Senders für einen bestimmten Kopplungsgrad die beste wird, aber es ist im allgemeinen nicht richtig, daß dieses Maximum genau für $K' = 0{,}6$ wie dies die Berechnungen von Drude zeigen, eintritt. Es läßt sich dies aus den nachfolgenden Messungen am besten ersehen. Ein primärer Kreis erregte einen sekundären Kreis und beide wurden in Resonanz gebracht und sodann die Kopplung geändert. Die maximale Schwingungsperiode des Sekundärkreises wurde annähernd an einer Meßfunkenstrecke bestimmt. Um den Kopplungsgrad oder den Faktor K' zu bestimmen,

[1]) A. d. Ph. 1904.

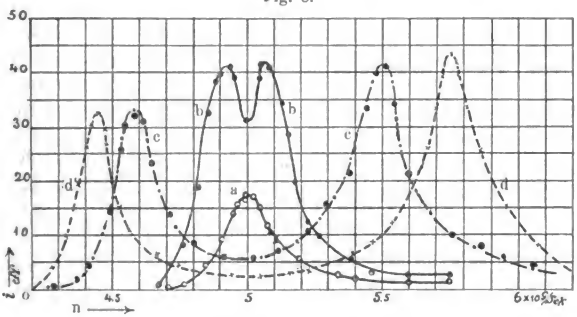
Digitized by Google

wurde mittels eines veränderlichen Meßstromkreises, welcher einen Kondensator und Bolometer enthielt, die Resonanzkurve der Schwingungen des Sekundärkreises studiert. Aus den Gipfelpunkten der Resonanzkurven wurden wenigstens annäherungsweise die Frequenzen n_1 und n_2 der beiden Schwingungen im Sekundärkreise bestimmt und der Faktor K' nach der Gleichung berechnet.

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{1+K'}{1-K'}}.$$

Die Kurven, welche durch allmähliche Verstärkung der Kopplung erhalten wurden, sind durch a, b, c, d (Fig. 8) wiedergegeben. Der

Fig. 8.



Kopplungskoeffizient, welcher sich hieraus ergibt, sowie die beobachteten Längen der Meßfunkenstrecke sind nachstehend verzeichnet.

	K'	F
a	—	1,2 mm
b	ungefähr 0,02	2,7
c	„ 0,18	3,2
d	„ 0,25	3,1

Die Amplitude in dem sekundären Systeme erreicht demnach ihr Maximum schon für $K' = 0{,}18$, also für eine viel losere Kopplung als jene, welcher $K' = 0{,}6$ entspricht.

Die Ursache dieses beträchtlichen Unterschiedes wird dem zugeschrieben, daß Drude gezwungen war, die Dämpfung des primären Kreises als konstant anzunehmen, während sich wahrscheinlicherweise der Widerstand der Funkenstrecke im Primärkreise mit der Kopplung und damit verbundenen Aenderung der Schwingungen ändert.

Digitized by Google

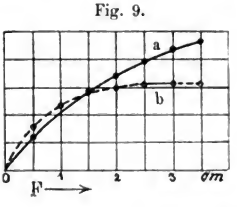
6. Aus der Tatsache, daß die Maximalamplitude des sekundären Systems (F Anfangspotentialdifferenz im Primärkreise, w_1 Widerstand dieses Kreises, welcher praktisch als identisch mit dem Widerstande der Funkenstrecke anzusehen ist) proportional Fw_1 ist, zieht Drude den Schluß, daß die Wirkung des Teslatransformators innerhalb gewisser Grenzen wenig von der Potentialdifferenz abhängig ist.

Die Weise, in welcher die Initial-Potentialdifferenz mit der Länge des Funkens wächst, hängt für relativ große Funkenlängen von dem Halbmesser der Funkenkugeln ab. Für große Funkenkugeln, z. B. von 2,5 cm Halbmesser, wächst das Potential bis zu 4 cm Funkenlänge sehr rasch, aber nicht proportional zur Entfernung an. Bei kleinen Funkenkugeln mit einem Halbmesser unter 1 cm wächst die Potentialdifferenz von einer Funkenlänge von 1 cm ausgehend sehr wenig mit der zunehmenden Entfernung.

Die Weise, in welcher sich der Widerstand w_1 des Funkens mit der Länge ändert, hängt hauptsächlich von der Kapazität im Kondensatorkreise ab. Für Kapazitäten, welche 200 cm überschreiten, nimmt der Widerstand der Funkenstrecke bis auf eine Funkenlänge von 0,5 cm nicht zu, sondern ab. Ueber diese Entfernung hinaus nimmt der Widerstand mit der Länge des Funkens zu, aber in sehr verschiedenem Maße, je nach der Größe der Kapazität und zwar sehr rasch bei verhältnismäßig kleinen Kapazitäten und langsam bei großen Kapazitäten.

Es läßt sich daher über das Verhalten von Fw_1 kein allgemeiner Schluß ziehen. Die Kurven (Fig. 9) zeigen, wie sehr dies von den Verhältnissen abhängt. Die Kurven wurden durch Auftragen der Funkenlängen des primären Kreises als Abszissen und der Funkenlänge zwischen zwei sehr großen Kugeln von 5,7 cm Halbmesser im Sekundärkreise als Ordinaten gewonnen. Die Kurve a bezieht sich auf einen Teslatransformator, bei welchem die primäre Kapazität 246 cm und der Halbmesser der Funkenkugeln 0,75 cm war. Die Kurve b stammt von einer Anordnung, deren primäre Kapazität 984 cm betrug und bei welcher die beiden Funkenkugeln einen Halbmesser von 2,5 cm hatten. Wenn auch der Unterschied in diesen beiden Fällen nicht sehr bedeutend ist, so zeigen doch diese beiden Kurven ein ganz ungleiches Verhalten.

Fig. 9.



Digitized by Google

Es ist sicher richtig, daß innerhalb gewisser Grenzen die Spannungsamplitude des Sekundärkreises sich nur wenig ändert, wenn man die primäre Potentialdifferenz vergrößert. Aber bei den für die drahtlose Telegraphie gegebenen Bedingungen, bei welchen der Wert der primären Kapazität für kleinere Stationen 10000 bis 40000 cm und bei sehr großen Stationen bis zu 200000 cm beträgt und bei welchen außerdem die Funkenkugeln einen sehr großen Durchmesser haben, wächst die Maximalamplitude im sekundären Systeme verhältnismäßig rasch mit der primären Potentialdifferenz an, wenigstens bis zu 4 cm Schlagweite. In Wirklichkeit kommen in der Praxis Schlagweiten bis zu 4 cm und darüber zur Anwendung.

7. Drude gibt eine Methode zur Bestimmung der Dämpfung des Oszillators und Resonators, sowie der Frequenz des Resonators. Nach dieser Methode bestimmt man die Maximalamplitude (maximalen Wert des Potentials V_2) der Resonanzkurven und wird diesfalls vorgeschlagen, die experimentelle Bestimmung mittels eines Funkenmikrometers oder besser noch durch die elektrische Ablenkung der Kathodenstrahlen einer Braunschen Röhre durchzuführen.

In der Telegraphie ohne Draht handelt es sich jedoch um Frequenzen von der Ordnung 10^6 und ist für diese Frequenzen die Braunsche Röhre nicht mehr anwendbar. Wäre sie zu verwenden, so würde sie die direkte Bestimmung der Dämpfung ermöglichen. Um die Maximalamplitude nach der Schlagweite abschätzen zu können, ist es notwendig, die Beziehung zwischen der Schlagweite und der Spannungsamplitude für schnelle Schwingungen zu kennen. Ueber diesen Punkt ist aber bisher so viel wie nichts bekannt (Bjerkneß hat gezeigt, daß man bei den Messungen an den Schwingungen eines großen Oszillators von Hertz falsche Resultate erhält, wenn man die Beziehungen zwischen Schlagweite und der für statische Ladungen gültigen Potentialdifferenz zu Grunde legt). Es scheint daher, daß der Methode von Drude, abgesehen von anderen Erwägungen, die erforderliche Grundlage fehlt.

In Bezug auf die Bestimmung der Dämpfung in der Telegraphie ohne Draht gibt die Methode von Bjerkneß sehr gute Resultate. Es ist einzig und allein empfehlenswert, im Resonanzkreise bloß die Kapazität und nicht den Selbstinduktionskoeffizienten abzuändern und die Messungen mittels eines in einem induzierten Kreise eingefügten Bolometers durchzuführen.

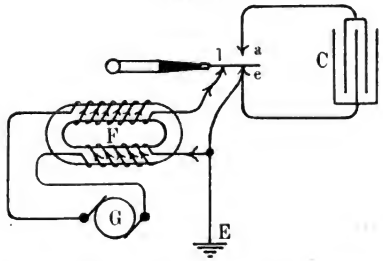
Diese Methode gibt mit hinreichender Genauigkeit die Dämpfungen des primären und sekundären Kreises und die Frequenz eines dieser Kreise, wenn die des anderen bekannt ist.

Digitized by Google

Theorie des Senders für drahtlose Telegraphie von James Foster King[1]). Ueber die Einrichtung des Wellenerregers dieses bereits in die F. d. T. III, S. 221 beschriebenen Systems gibt King folgende theoretische Erläuterungen. Als Hypothese für das Arbeiten wird angenommen

1. Der von dem Erreger G (Fig. 10) gelieferte Erregerstrom J ist für verschiedene Belastungen konstant.

Fig. 10.



2. Die aufgedrückte Spannung V, welche diesen Strom durch einen Kreis von veränderlichem Widerstande zwingt, und von der Bezeichnung

$$V = J\left(R + \frac{Dp}{dp}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

($d \infty t$) abhängt, muß sich in Uebereinstimmung mit einem sich steigernden Lichtbogenwiderstand (dp) ändern, welcher in den vorher geschlossenen Kreis des Erregerstromes eingefügt wird, sobald sich der bewegliche Kontakt l von dem geerdeten Kontakt e trennt. Es ist hier

R der konstante Widerstand des Erregerkreises, wenn d gleich 0 ist,

p der konstante Widerstand eines Lichtbogens von der Einheit der Länge,

d Zwischenlänge des Lichtbogens zu irgend einem Zeitpunkte t und

D die maximale Länge des Lichtbogens.

3. Die zum Auslöschen dieses Bogens erforderliche Zeit, welche von dem durch ihn durchgeleiteten Energiebetrag in der Zeiteinheit

[1]) E. W. Bd. 45, S. 719.

Digitized by Google

abhängt, die Menge und das spezifische Hitzestrahlungsvermögen des Dampfes der freien Elektroden, und die Selbstinduktion des Lichtbogens müssen immer kleiner sein, als eine Viertelperiode $\frac{T}{4}$ des geschlossenen Schwingungskreises, so daß sie als augenblicklich angesehen werden können.

4. Die Selbstinduktion des Erregers G ist vernachlässigbar und kann die Gesamtselbstinduktion des Erregerkreises in dem Induktor F als vereinigt angesehen werden.

Der wirkliche Wert der totalen Selbstinduktion L ist proportional dem Quadrate der Anzahl von geschlossenen Stromelementen, verbunden mit dem magnetischen Kraftfluß i des weichen Eisenkernes und gegenüber den verhältnismäßig schwachen konstanten Erregerströmen sehr groß, weil die magnetische Permeabilität des den Kern bildenden Eisens groß ist.

Es werden große effektive Werte der Selbstinduktion erhalten, wenn der Eisenkern große Permeabilität für die magnetisierende Kraft des Erregerstromes hat und der magnetische Kraftfluß sich der Sättigung nähert. Eine plötzliche Aenderung des erregenden Stromes ruft durch ein teilweises oder gänzliches Auslöschen des die unterbrochenen Enden l und e verbindenden Lichtbogens eine selbstinduzierte Spannungswelle hervor, welche in diesem besonderen Beispiele den anregenden Strom in der gleichen Richtung kreuzt, wie die ursprüngliche Erregerenergie.

Die selbstinduzierte Spannungswelle wird einen unendlich großen Wert annehmen, wenn der Strom J augenblicklich auf 0 gebracht werden kann. Dieser Wert wird verhältnismäßig um so kleiner, je größer die Zeit ist, welche gebraucht wird, um diesen Strom gänzlich zu unterbrechen. Stromänderungen in dem Bogen werden aber nur dann eintreten, wenn ein Weg besserer Leitfähigkeit zwischen den getrennten Kontakten l und e hergestellt wird, als der vorher bestehende Lichtbogen. Dies ist dann möglich, wenn diese unterbrochenen Enden einen Zweigkreis in dem Augenblick schließen, in welchem der Lichtbogen die größte Länge erreicht hat und der Widerstand des Bogens größer ist als die Impedanz dieses Kreises.

Dieser den Kondensator C und einen Teil der Selbstinduktion des Oszillators einschließende Zweigkreis wird innig mit dem Erregerkreise verbunden und bildet, wenn der bewegliche Kontakt l bei seiner Bewegung von e nach a mit a in Kontakt kommt, einen integrierenden Teil dieses Kreises.

Digitized by Google

Beim Senden gelangt nun der bewegliche Kontakt l in Verbindung mit dem Kontakt a und die erregende Energie wird von dem Bogen, welcher zwischen der unteren Fläche von l und der oberen Fläche von e entsteht, abgelenkt und ladet nunmehr den Kondensator C in Serienschaltung.

Die Impedanz, welche ein nicht geladener Kondensator entgegensetzt, ist zu Beginn fast unbemerkbar und ist es daher klar, daß der Impedanzfaktor $\left(\frac{1}{2\pi n C_1}\right)$ des Kondensators nicht in die Gleichung eingesetzt zu werden braucht, welche die wirkliche Impedanz, die sich dem Ladungsstrom entgegensetzt, zum Ausdrucke bringt, und man hat daher

$$Z = \sqrt{R_1^2 + 2\pi n L_1^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und ist es, wenn $Dp > Z$, außer Zweifel, daß der Lichtbogen zu dessen natürlicher Erlöschungsperiode absterben wird. Der den Kondensator ladende Strom ändert sich bis zum Verschwinden in einer Viertelperiode $\frac{T}{4}$ der Schwingungsperiode des Oszillators

Die selbstinduzierte Spannungswelle wird ihren maximalen Wert

$$V'' = 2\pi n L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

zu Beginn der Ladung und einen minimalen Wert zu Beginn der Entladung von

$$V' = 2\pi n L - \left(\frac{1}{2\pi n C_1}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

haben.

Die Impedanz des Induktors F bei der hohen Freqenz n der Schwingungsströme verhindert die hochgespannten Entladungen des Kondensators C, durch die Windungen des Erregers hindurchzugehen und dessen Windungen in gefährlicher Weise zu überhitzen. Es wird daher über die in dem geschlossenen Kreise eingefügte Funkenstrecke eine disruptive Entladung stattfinden, wodurch sich ein periodischer Ausgleich der in diesem Kreise aufgespeicherten und auf diesen beschränkten Energie vollzieht.

Die Entladungen sind oszillatorischer Natur, wenn der Widerstand des Schwingungskreises, den Widerstand der Funkenstrecke eingeschlossen, der folgenden Gleichung entspricht

$$(Dp + R_1)^2 < \frac{4L}{C} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Digitized by Google

Die Frequenz n dieses geschlossenen Schwingungskreises bestimmt sich aus $n = \frac{1}{T}$, wobei die natürliche Schwingungsperiode sich durch

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \frac{(Dp + R_1)^2}{L_1^2}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

darstellt, worin die Konstanten L_1, C_1, R_1 und Dp, welche die in dem Kreise enthaltene Selbstinduktion, Kapazität und den Gesamtwiderstand der Kreise bedeuten, bekannt sind.

Neue Formel von B. Straßer zur Bestimmung des Selbstinduktionskoeffizienten von Solenoiden[1]). Die nach der Stefanschen Formel berechneten Werte der Selbstinduktion kurzer Spulen mit wenigen Windungen ergeben gegenüber den durch den Versuch ermittelten Werten oft eine Abweichung von 20 v. H. Dies wurde von Drude für schnelle Schwingungen und vom Verfasser für langsame Schwingungen festgestellt. Die vom Verfasser aufgestellte neue Formel erweist, wie dies durch Beispiele belegt ist, daß man mittels deren Hilfe durch Rechnung der Wirklichkeit viel näher kommt als mit der Formel von Stefan. Ist L das Selbstpotential einer Spule, n die Anzahl der Windungen, $2r$ der mittlere Durchmesser der Spule, g ihre Ganghöhe, ρ die Dicke des Spulendrahtes und setzt man

$$2[\ln(n-1)!\,(n-2)!\,\ldots] = A,$$

$$3[(n-2)\,2^2 \ln 2 + (n-3)\,3^2 \ln 3 + \ldots] = B,$$

so ist

$$L = 4\pi r \Big\{ n\left(\ln \frac{r}{\rho} + 0{,}333\right) + n\,(n-1)\left(\ln \frac{8r}{g} - 2\right) - A + \frac{g^2}{8r^2}\left[\left(3 \ln \frac{8r}{g} - 1\right)\left(\frac{n^2(n^2-1)}{12} - B\right)\right]\Big\}.$$

Die Werte der Größen A und B bis für 30 Windungen sind in der Tabelle S. 46 enthalten.

Diese Formel liefert, wenn $g = 0{,}6\,r$ bezw. $ng = 5r$, für L noch recht gute Werte.

Zum Gesetze der elektrischen Durchschläge. Zu den in die F. d. T. III, S. 18 gebrachten Erläuterungen dieses Gesetzes führt Richard Schroeder[2]) sich auf H. Grob (S. 23 d. B.) beziehend an, daß

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 17, S. 763.

[2]) E. T. Z. 1905, S. 19.

Digitized by Google

n	A	B	n	A	B
1	—	—	16	354,4	35 694
2	—	—	17	415,8	46 757
3	1,386	8,315	18	482,8	60 427
4	4,970	43.296	19	555,5	76 662
5	11,33	140,82	20	634,2	96 910
6	20,90	366.95	21	718,9	119 330
7	34,06	794,73	22	809,7	146 517
8	51,11	1499,55	23	906,6	178 140
9	72,32	2590,62	24	1009,8	217 338
10	97,92	4187,55	25	1119,4	259 868
11	128,17	6572,94	26	1235,4	305 044
12	168,14	9769,47	27	1357,9	359 767
13	202,1	14042,1	28	1487,0	421 783
14	248,2	19532,2	29	1618,1	491 819
15	298,6	26740,1	30	1765,4	570 515

bei dessen Versuchen tatsächlich Resonanz vorhanden gewesen zu sein scheint, wogegen sich die von Dr.-Ing. Monasch bei seinen Versuchen beobachteten Spannungserhöhungen nicht ohne weiteres durch Resonanz erklären lassen. Monasch arbeitete mit Wechselstrom von 2000 Volt Spannung und Stromstärken von 0,03 bis 0,07 Ampere. Die Elektroden waren Konusse von 5 mm Höhe, 10 mm Grunddurchmesser. Als Material wurden 10 verschiedene Metalle verwendet. Die Spannung ergab sich proportional der Elektrodenentfernung. Wurde jedoch eine bestimmte untere Grenze erreicht, die nach dem Elektrodenmateriale eine verschiedene war, so änderte sich der Funkenübergang. Der oberhalb dieser kritischen Zone liegende Funke ist zischend, wogegen er in der kritischen Zone knisternd wird und gleichzeitig eine große Spannungserhöhung eintritt. Für Cadmium wurde erhalten

Funkenlänge mm	Spannung Volt
0,6	800
1,3	1100
1,5	1000
2,0	650
3,0	750
3,7	800

Da an den Zuleitungen nichts verändert wurde, blieb auch die Selbstinduktion konstant. Die Kapazität der Elektroden liegt nach der

Digitized by Google

Rechnung für einen Abstand von 1 bis 2 mm unter 0,5 cm. Um zu einem Ergebnisse zu gelangen, müßte man Versuche mit parallel zur Funkenstrecke geschalteten Kapazitäten von 20 bis 30 cm anstellen, um die Kapazität der Funkenstrecke gleichzuhalten.

Gegenüber der von Dr. Benischke aufgestellten Behauptung (siehe die F. d. T. III, S. 29), daß die Messungen von Walter und Voege (S. 20 d. B.) keinen technischen Wert hätten, weisen die beiden Herren in einem Briefe [1]) darauf hin, daß die erhobenen Einwendungen, zu großer magnetischer Streuung der benutzten Funkeninduktoren, Möglichkeit des Auftretens unberechenbarer Spannungserhöhungen durch Resonanz und Nichtberücksichtigung des durch die Vorentladung des Funkens bedingten Spannungsabfalles, nicht zutreffend sind und sie behaupten zu können glauben, daß das von ihnen aufgestellte Gesetz auch für die Praxis zutreffend sei und großen Nutzen zu gewähren vermöge. Untersuchungen mit einem technischen Transformator würden jedenfalls eine Bestätigung dieser Anschauung bringen.

In einem späteren Schreiben [2]) weisen die Herren Walter und Voege nach, daß Ueberschlagsversuche mit einem technischen Transformator bereits im Jahre 1898 von C. E. Skinner [3]) durchgeführt wurden. Diese Versuche wurden mit einem 30 Kw.-Transformator für 100 000 Volt ausgeführt, wobei die primäre Spannungskurve genaue Sinusform hatte. Da bei einem Transformator von so hoher Leistung, eine Verzerrung der Spannungskurve, durch die schwache Vorentladung eines Funkens, entweder nicht oder nur in sehr schwachem Maße stattfinden kann, lassen sich die Maximalspannungen durch Multiplikation der erhaltenen Effektivwerte mit $\sqrt{2}$ berechnen und ergeben sich dann für die Schlagweiten in Luft zwischen Spitzenelektroden folgende Werte.

Schlagweite in Zentimeter	Maximalspannungen	
	gefunden von Skinner	berechnet nach Voege
10,2	73 500	72 000
15,2	102 000	97 000
20,3	127 000	121 000
30,5	170 000	169 000
35,6	196 000	194 000

[1]) E. T. Z. 1905, S. 131.
[2]) E. T. Z. 1905, S. 243.
[3]) E. W. 1898, S. 300.

Digitized by Google

Die Uebereinstimmung der mit dem Transformator und dem Induktor ermittelten Werte ist demnach eine so gute, daß das aufgestellte Schlagweitengesetz, welches mit Induktoren ermittelt wurde, auch für technische Transformatoren als gültig angenommen werden kann. Benischke[1]) sieht in den vorstehend gegebenen Zahlen nur einen Beweis für seine Behauptung, weil sämtliche Spannungswerte von Voege kleiner sind als die von Skinner und zwar durchschnittlich um 6 v. H. Nimmt man hierzu, daß Voege bei Belastung des Induktors eine um 2 v. H. höhere Spannung erhalten hat als bei Leerlauf, was doch unmöglich ist, so ist dies ein weiterer Beweis für diese Behauptung. Er hält in Anbetracht der vielen Nebenumstände, die auf die Schlagweite Einfluß haben, Messungen, die nicht genau unter den gleichen Bedingungen in Bezug auf Luftdruck und Temperatur angestellt sind, überhaupt nicht vergleichbar.

Dr.-Ing. W. Voege[2]) hat neuerliche Untersuchungen über den Uebergangswiderstand und die Beeinflussung größerer Funkenstrecken durch ionisierende Körper durchgeführt, welche auf die vorhergehend gefundenen Tatsachen, daß zwischen Schlagweite und Spannung, von einer bestimmten Funkenlänge an, Proportionalität besteht und daß an den Elektroden ein Uebergangswiderstand vorhanden ist, welcher bei zunehmender Schlagweite abnimmt und für größere Funkenlängen von einer bestimmten Grenze ab konstant zu bleiben scheint (siehe die F. d. T. III, S. 18), einiges Licht zu werfen geeignet sind. Für kleinere Funkenstrecken ist erwiesen, daß der Funkenüberschlag durch deren Bestrahlung, mit Bequerel- und Röntgenstrahlen, sowie mit ultraviolettem Lichte, regelmäßiger vor sich geht und die Funken häufig schon bei geringerer Spannung übergehen und eine weißere Farbe annehmen.

Die Untersuchung von Funkenstrecken über 10 cm Länge unter Einwirkung dieser Strahlen ergab jedoch einen kaum bemerkenswerten Einfluß, so daß das Schlagweitengesetz

$$V = A\,d + B$$

auch unter dieser Einwirkung auf die Funkenstrecke keine Aenderung erfährt.

Die Bildung eines elektrischen Funkens ist sich nach der neuesten Anschauungsweise wie folgt vorzustellen: Zwischen den Elektroden sind stets einige freie Ionen vorhanden. Durch ein starkes elektrisches

[1]) E. T. Z. 1905, S. 292.
[2]) E. T. Z. 1905, S. 360.

Digitized by Google

Feld zwischen den Elektroden erhalten diese Ionen in kurzer Zeit eine große Geschwindigkeit, stoßen dadurch auf die vorhandenen Gasmoleküle und spalten sie in neue Ionen, welche nun ihrerseits wieder zur Bildung neuer Ionen u. s. f. beitragen. Die positiven Ionen wandern zur negativen und die negativen Ionen zur positiven Elektrode und befindet sich daher an jeder Elektrode ein Ueberschuß an Ionen entgegengesetzten Vorzeichens. Er stellte sich nun die Frage, ob diese Schichten positiver und negativer Elektronen bei der Funkenbildung eine Rolle spielen, bezw. wie sich der Funkenüberschlag ändert, wenn man an den Elektroden fremde Ionen eines bestimmten Vorzeichens erzeugt. Zur Erzeugung von freien Ionen bot die Bunsenflamme ein bequemes

Fig. 11.

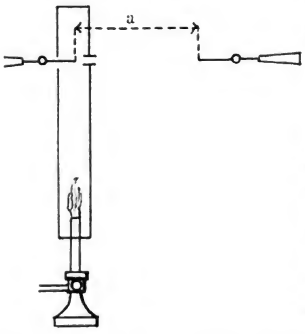
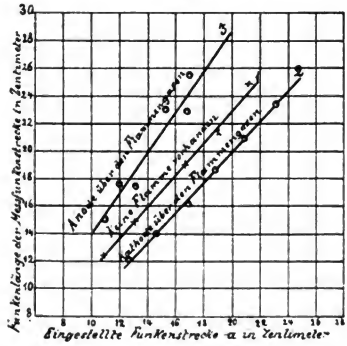


Fig. 12.



Mittel. Nach der Versuchsanordnung (Fig. 11) brennt die Bunsenflamme in einem Glaszylinder. Die zu prüfende Elektrode ragte durch eine seitliche Oeffnung in den Zylinder und befand sich der Spitze gegenüber ein kleines Loch, durch welches die Funken mit Leichtigkeit überschlagen konnten. Es zeigte sich nun, daß, wenn die in der Flamme befindliche Elektrode „Kathode“ war, sich der Funkenübergang erleichterte, war sie jedoch „Anode“, so wurde dieser in bedeutend höherem Grade erschwert.

Fig. 12 zeigt die für verschiedene Funkenlängen aufgenommenen Kurven. Die Spannungen wurden wie früher durch eine parallel geschaltete Funkenstrecke mit Spitzenelektroden bestimmt. Der Spannungsunterschied ist nach diesen Kurven für die einzelnen Schlagweiten so ziemlich der gleiche. Für die Kurve 3 liegen die Aufnahmspunkte der Kurve ziemlich unregelmäßig.

Digitized by Google

Untersuchungen der Flammengase mittels eines hochempfindlichen Elektroskopes ließen einen überwiegenden Einfluß der positiven oder negativen Ionen nicht feststellen.

Eine Nernstlampe, welche im glühenden Zustande vorwiegend negative Ionen aussendet, an Stelle des Bunsenbrenners in den Zylinder gebracht, ergab folgendes: War die Elektrode im Zylinder die Kathode, so wurde der Funkenüberschlag nicht wesentlich beeinflußt, war sie jedoch Anode, so wurde er bedeutend erschwert. Die folgende Tabelle, in welcher die Zahlen die Funkenlängen der Vergleichsfunkenstrecke in Zentimeter bedeuten, zeigt das Ergebnis der Messungen.

Eingestellte Funkenstrecke a in Zentimeter	Die Nernstlampe brennt nicht im Zylinder		Die Nernstlampe brennt im Zylinder	
	Kathode	Anode	Kathode	Anode
11	12,6	11,2	—	—
13	14,3	14,5	13,6	15,8
15	—	17,2	16,5	18,0
17	—	19,0	18,5	20,5
19	21,8	20,5	21,3	22,0

Wurde ein auf elektrischem Wege dunkelrotglühend gemachter Platindraht, welcher positive Ionen aussendet, direkt als eine der Elektroden verwendet, so erhielt Voege die in nachfolgender Tabelle verzeichneten Ergebnisse.

Eingestellte Funkenstrecke a in Zentimeter	Platindraht, Kathode		Platindraht, Anode	
	kalt	glühend	kalt	glühend
5	3,6	2,8	—	—
7	6,0	4,6	—	—
10	9,5	8,3	9,7	9,4
12	12,0	10,1	12,2	12,5
14	13,5	11,95	—	—
16	15,4	14,4	15,7	15,6
18,5	18,0	17,2	—	—
20	19,2	17,9	—	—

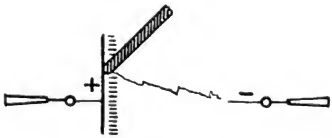
Glühender Platindraht als Anode beeinflußt sonach den Funkenübergang nur unwesentlich, fördert hingegen als Kathode die elektrische Entladung.

Digitized by Google

Nach diesen Versuchen läßt sich der Satz aufstellen: Gleichnamige fremde Ionen in die Nähe einer Elektrode gebracht, üben auf den Funkenübergang keinen besonderen Einfluß. Negative Ionen an der Anode erschweren, positive an der Kathode erleichtern den Uebergang. Es ist sonach anzunehmen, daß alle negativen Ionen an der positiven Elektrode einen Widerstand für die elektrischen Entladungen bilden und daß man in dieser Schicht negativer Ionen an der Anode einen wesentlichen Teil des Uebergangswiderstandes beim Austritt der Elektrizität aus der Elektrode in das Gas zu suchen hat. Durch diese Annahme läßt sich manche eigentümliche Erscheinung auf dem Gebiete des Funkenüberschlages, so namentlich der Unterschied der Entladung zwischen Spitze und Platte, wenn die Spitze positiv oder negativ ist, erklären. Bei positiver Spitze erfolgt die Funkenentladung schon bei bedeutend geringerer Spannung, als bei negativer Spitze. Bei positiver Platte bildet sich an dieser eine Schicht negativer Ionen, welche den Austritt der positiven Büschel erschweren, so daß sie lieber den weiteren Weg vom Rande als von der Mitte der Platte nehmen. Ist umgekehrt die Spitze positiv, so spielt naturgemäß die Schicht negativer Ionen eine viel geringere Rolle und vereinigt sich außerdem die ganze elektrische Wirkung auf einen Punkt, so daß sie den Widerstand viel leichter zu durchbrechen vermag.

Sind bei positiver Platte und negativer Spitze die Elektroden so weit voneinander entfernt, daß kein Funkenübergang mehr stattfindet, so läßt sich dieser sofort auslösen, wenn man die Platte an irgend

Fig. 13.



einer Stelle mit einem festen Isolator berührt und so die Ionenschicht durchbricht. Die Funken schlagen dann genau nach dem berührten Punkte der Platte. Der berührende Körper kann dabei vollkommen abgerundet oder kugelförmig sein, so daß an eine Spitzenwirkung nicht zu denken ist (Fig. 13). Ebenso läßt sich zwischen zwei Spitzen, zwischen denen für gewöhnlich kein Funke mehr überspringt, ein lebhafter Funkenübergang durch Verdeckung der positiven Spitze mit

Digitized by Google

einem Isolator, etwa einer Hartgummiplatte, hervorrufen. Die Funken schlagen hier trotz des größeren Weges um den Rand der Platte herum (Fig. 14) und hören sofort auf, wenn man die Platte von der Spitze entfernt. Es läßt sich auch durch den Widerstand der negativen Ionenschicht an der Anode der unregelmäßige Verlauf der Entladung bei Anwendung von Kugelelektroden erklären.

Durch Vermehrung der positiven Ionen an der negativen Elektrode wird der Funkenübergang erleichtert, wogegen gleichnamige Ionen an dieser Stelle keinen Einfluß üben. Die Ionenvermehrung läßt sich aber auch durch einen elektrischen Funken bewirken. Nähert man beispielsweise der negativen Elektrode eine schlecht zur Erde abgeleitete dritte Elektrode von unten oder von der Seite, so springen bei kleinem Abstande Funken nach dieser über. Trotz der durch diese Ableitung stattfindenden Erniedrigung des Potentiales an der Spitze,

Fig. 14.

genügt die Wirkung der erzeugten positiven Ionen, um einen Funkenüberschlag zu veranlassen, welcher sofort nach Entfernung der dritten Elektrode wieder verschwindet. Da eine Vergrößerung der Kapazität und hieraus sich ergebende Resonanzwirkung hier nicht in Betracht kommen kann, indem die Wirkung bei metallischer Berührung mit der dritten Elektrode verschwindet, erklärt sich dies nur dadurch, daß der überspringende kleine Funke Ionen erzeugt, welche die Entladung auslösen. An der Anode erweist sich die dritte Elektrode meist wirkungslos.

Der eigentümliche Verlauf der Schlagweitenkurve läßt sich durch folgende Betrachtung erklären. Eine auf hohes Potential geladene Spitze sendet als Kathode negative, als Anode positive Ionen aus. Die Ionen werden von der Spitze aus mit einer gewissen Geschwindigkeit in den Raum hinausgeschleudert und ist hierbei die Geschwindigkeit der leichteren negativen Ionen größer als die der positiven. Bei kleinem Elektrodenabstande befindet sich die positive Elektrode im Wirkungsbereiche der Kathode und wird der Widerstand dadurch erhöht, indem die von der Kathode ausgesendeten Ionen bis zur Anode gelangen. Je weiter nun die Spitzen auseinanderrücken, desto geringer ist die Einwirkung des negativen Poles auf den positiven. Endlich gelangt es zu einer Grenzstellung, wo nur ab und zu, wie bei plötz-

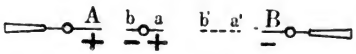
Digitized by Google

licher Spannungssteigerung, negative Ionen die positive Spitze erreichen und ist dies die Zone der unsicheren Beobachtung. Die positiven Ionen der Anode, welche die Kathode treffen, erleichtern zwar den Funkenübergang, scheinen aber nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, weil der Wirkungsbereich der Anode infolge der verschiedenen Ionengeschwindigkeit kleiner als der der Kathode ist. Das steilere Ansteigen der Schlagweitenkurve zu Beginn ist sonach einer Rückwirkung der negativen Elektrode auf die positive zuzuschreiben.

Im luftverdünnten Raume scheint sich infolge anderer Geschwindigkeitsverhältnisse eine andere Verteilung der Ionen herzustellen, da ja bekanntermaßen in Vakuumröhren das größte Potentialgefälle an der Kathode liegt. Nachstehende Versuche scheinen diese Erklärung zu bestätigen.

1. Wird zwischen die ursprünglichen Elektroden A B (Fig. 15) eine dritte Elektrode mit zwei spitzen Enden a b gebracht, so ist es

Fig. 15.



nicht gleichgültig, an welcher Stelle sich diese Elektrode befindet. Der Gesamtwiderstand dieser Funkenstrecke ist dann am geringsten, wenn sich die Spitze b in kleinem Abstande von der Anode A, sohin die Spitze a in verhältnismäßig großem Abstande von der Kathode B sich befindet. Die Anode A muß sich weit von dem Wirkungsbereiche der Kathode B befinden. Kommt b zu dicht an A, so wird die negative Ionenschicht bei A verstärkt. Es übt die Kathode B mit ihrer höheren Spannung naturgemäß eine größere Wirkung aus wie die erst mittelbar zur Kathode werdende Spitze b, und ist daher der Widerstand nicht am kleinsten, wenn b a in der Mitte zwischen A B liegt. Bei Verschieben von b a nach der einen oder der anderen Seite wird der Funkenüberschlag schwächer oder hört auch ganz auf. Der Uebergangswiderstand nimmt den größten Wert an, wenn sich die Hilfselektrode in der Lage b′ a′ befindet. Bringt man b a so dicht an eine der Elektroden heran, daß metallische Berührung stattfindet, so ist die zur Funkenbildung erforderliche Spannung fast genau so groß, als wenn sich b a in der günstigsten Stellung befindet. Es scheint sonach in der letzteren Stellung der Uebergangswiderstand an der dritten Elektrode annähernd gleich null zu sein. Man erhält das gleiche Ergebnis, wenn man statt der Spitzen Kugeln verwendet.

2. Bei Näherung einer geerdeten Spitze an eine mit einem Induktor

Digitized by Google

verbundene Spitzenelektrode, springen bei einem gewissen Abstande Funken über. Bei nicht zu großer Funkenstrecke lassen sich bei der gleichen Spannung längere Funken erzielen, wenn die mit dem Induktor verbundene Spitze Anode, als wenn sie Kathode ist, weil im ersten Falle die Rückwirkung der Kathode auf die Anode viel geringer ist, als im zweiten, wo diese vom Induktor auf ein hohes Potential geladen wird. Bei den Versuchen wurden bei positiver Spitze Funken von 3,5 cm und bei negativer solche von 2,7 cm Länge erhalten.

3. Hiergegen scheint die Tatsache im Widerspruch zu stehen, daß Radiumstrahlen den Funkenübergang erleichtern, wenn sie die Anode treffen, insbesondere, da es sich hier um die negativ geladenen β-Strahlen handelt. Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Funkenstrecke geht nämlich auch durch dickes Bleiblech hindurch, welches die positiven α-Strahlen absorbiert. Der sich hier abspielende Vorgang läßt sich vielleicht folgendermaßen erklären: Von dem Radiumpräparate werden kleine negative Teilchen mit großer Geschwindigkeit ausgesendet, welche, wenn sie die negative Ionenschicht an der Anode treffen, die negativen Ionen teils mechanisch, teils elektrostatisch ablenken, die Schichte hierdurch lockern und so eine Verringerung des Uebergangswiderstandes hervorbringen, so daß die Wirkung eine ähnliche ist, als wenn man die Anode mit einer Hartgummiplatte bedeckt.

Durch diese Untersuchungen wird einiges Licht auf das seltsame Verhalten des Funkens geworfen und läßt sich im weiteren Verfolg vielleicht ein Mittel finden, die zu so großen Energieverlusten führende Dämpfung in der Funkenstrecke wesentlich herabzudrücken.

Die Dämpfung von Kondensatorkreisen mit Funkenstrecke[1]). P. Drude hat diesbezüglich eingehende Versuche durchgeführt und deren Ergebnisse in einer längeren Abhandlung niedergelegt, welcher jedoch, weil zu umfangreich, nicht gefolgt werden kann, sich somit auf die Wiedergabe der Hauptergebnisse beschränkt werden muß. Es sind dies die folgenden:

In jedem Kondensatorkreis mit Funkenstrecke gibt es einen gewissen Bereich der Funkenlängen, für welche die Dämpfung eine minimale wird. Diese Funkenlängen können auch etwas vom Speiseinduktor abhängen. Innerhalb dieses Bereiches der Funkenlängen hängt das logarithmische Dekrement γ_1 kaum merklich von der Funkenlänge ab und kann bei allen Schwingungskreisen mit sehr verschiedener Kapazität C_1 und Selbstinduktion L_1 annähernd auf den

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 15, S. 709.

Digitized by Google

gleichen Wert gebracht werden, wenn die Funken durch einen Induktor nicht zu schwach und nicht zu kräftig gespeist werden und der Kondensator weder Hysteresis noch Büschelentladungen aufweist. Der annähernd gleichbleibende Minimalwert dieses Dekrements γ_1 liegt bei Zinkelektroden und kleinen Funkenlängen von etwa 1—2 mm zwischen 0,05 und 0,08. Das Verhältnis $C_1 : L_1$ konnte hierbei sogar den großen Wert 17 besitzen. Bedingung für die Erzielung so kleiner Dekremente ist vor allem, die Speiseleitung möglichst nahe am Funken anzulegen. Zuführungsfunkenstrecken (Righi-Speisung) sind bei Funken in Luft zu vermeiden.

Als Erregerkondensatoren dienen am besten in Petroleum oder einem sonst geeigneten Oel eingesetzte Metallplatten, ohne direkte Verbindung der entgegengesetzt geladenen Platten durch einen festen Isolator, weil solche keine Hysteresis besitzen noch Büschelentladungen aufweisen. Zinkelektroden zeigen die geringen Dämpfungsdekremente, auch nach längerem Gebrauche ohne Reinigung. Frisch gereinigt erhöht sich nach kurzer Zeit die Aktivität des Funkens, das Dekrement γ_1 wird kleiner und der Integraleffekt in einem Resonanzkreise größer. Bei kleinen Kapazitäten C_1 macht sich eine Verminderung des Dekrements γ_1 während des Funkenspieles bemerklich. Bei Speisung der Funkenstrecke mit Induktorien erhöht ein Wechsel der Stromrichtung das Dekrement γ_1. Die Speisung der Funken mit Wechselstromtransformatoren erweist sich gleich gut, aber nicht besser, wie die Speisung mit Induktoren. Eine Speisung der Funkenstrecke mit Teslatransformatoren ist nur bei sehr kleinen Erregerkapazitäten C_1 empfehlenswert und soll man dann die Funken unter Oel oder Petroleum überschlagen lassen. Die Integralwirkung des Erregerkreises in einem Resonanzkreise nimmt mit wachsender Funkenlänge zunächst zu, dann aber von einer bestimmten Funkenlänge wieder ab. Diese Wirkung erhöht sich wesentlich durch kräftigere Funkenspeisung, welche eine erhöhte Anzahl der Teilentladungen bewirkt. Die den größten Integraleffekt ergebende Funkenlänge hat bei kräftiger Funkenspeisung zumeist einen kleineren Wert als jene, welche dem kleinsten Werte des Dekrements γ_1 entspricht. Bei schwächerer Funkenspeisung fallen die beiden Werte zusammen. Der Integraleffekt hängt viel mehr von der Funkenlänge f_1 ab, als das Dekrement γ_1.

Will man größere Integraleffekte erzielen, so sind sehr kleine Funkenlängen f_1 zu verwenden, so bei einer Kapazität $C_1 = 36{,}600$ und kräftiger Speisung, etwa ein Funke von 5 mm und bei kleinerem C_1 entsprechend kleinere von etwa 1,5 mm an.

Digitized by Google

Der aus dem Dekrement γ_1 berechnete Funkenwiderstand w ist innerhalb eines Bereiches der Funkenlängen, bei welchen γ_1 nahezu konstant ist, von der Funkenlänge nur in sehr geringem Maße, dagegen sehr stark von der angelegten Kapazität C_1 und der Selbstinduktion L_1 des Schließungskreises abhängig. Der Widerstand w fällt mit wachsendem C_1 und abnehmendem L_1. So konnte z. B. für ein großes C_1 und ein kleines L_1 bei 1,8 mm Funkenlänge ein Widerstand von 0,18 Ohm erzielt werden, wo hingegen bei kleinerem C_1 und größerem L_1 für eine Funkenlänge von 1,4 mm der Widerstand $w = 2{,}1$ Ohm wurde. Bei konstanter Funkenspeisung, konstanter Kapazität und konstanter Funkenlänge hängt der Widerstand w stark von der Selbstinduktion L_1 des Schließungskreises ab.

Die Angabe eines Funkenwiderstandes ohne gleichzeitige Bekanntgabe der Kapazität C_1 und der Selbstinduktion L_1 ist sonach für die Beurteilung wertlos.

Georg Rempp[1]) suchte die Frage der Dämpfung von Kondensatorkreisen mit Funkenstrecke von allgemeineren Gesichtspunkten als bisher zu beleuchten und verlangte daher von dem für seine Messung zu wählenden Verfahren, daß es 1. die gesamte Dämpfung richtig angebe, 2. die bei der drahtlosen Telegraphie praktisch vorkommenden Verhältnisse möglichst getreu widerspiegele und 3. alle in Betracht kommenden Größen, vor allem aber die Funkenlänge innerhalb weiter Grenzen zu verändern gestattet.

Die einzige Möglichkeit hierfür bot das Resonanzverfahren von Bjerkneß. Bei der gewählten Versuchsanordnung (Fig. 16) wurde der Primärkreis P in symmetrischer Schaltung (Teslaschaltung) an zwei Leydener Flaschen-Batterien BB, für deren Herstellung englisches Flintglas zur Anwendung gelangte, angeschlossen. Die inneren Belegungen dieser Flaschen führten über kurze Drähte zur Funkenstrecke F, wogegen die äußeren Belegungen durch quadratische Spulen von 1 bis 5 Windungen blanken Kupferdrahtes verbunden waren. Als Funkenkugeln wurden solche aus Zink mit 1,5, 3, 4 und 5 cm Durchmesser benutzt.

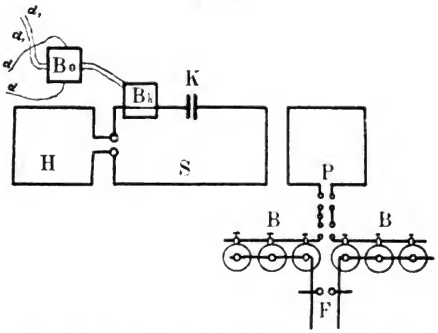
Der Sekundärkreis S, welcher mit dem Primärkreis sehr lose gekoppelt war, bildete ein Drahtrechteck aus 0,45 cm starkem Kupferdraht von 40 bezw. 100 cm Seitenlänge, in dessen Mitte der einen Längsseite ein regulierbarer Luftkondensator K angeschlossen war. Dieser Sekundärkreis wirkte wieder in loser Koppelung auf eine

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 17, S. 627.

Digitized by Google

quadratische Spule B_k aus 0,19 cm starkem Drahte, bestehend aus 4 Windungen von je 20 cm Seitenlänge. An diesen zweiten Kreis war ein Bolometer B_o geschaltet, das in der von Palzow und Rubens angegebenen Weise benutzt wurde. Die Drähte dd_1 bezw. cc_1 führen zur Hilfsbatterie bezw. zum Galvanometer. H bedeuten auswechselbare Hilfsspulen. Zum Laden der Flaschen wurden abwechselnd drei Induktoren mit Turbinenunterbrecher und eine Töplersche Influenzmaschine mit 20 Platten verwendet. In den Primär- und Sekundärkreis ließen sich Widerstände aus dünnem Manganin, Nickelin und Neusilberdraht einschalten.

Fig. 16.



Die Ergebnisse der Versuche, welche sich teils in Uebereinstimmung, teils im Widerspruche mit anderen Arbeiten befinden, sind folgende:

Der berechnete Widerstand der Leitungsbahn eines Kondensatorkreises betrug, sofern nicht absichtlich ein künstlicher Widerstand eingeschaltet wurde, in allen untersuchten Fällen nur einen geringen Bruchteil des Gesamtwiderstandes, wobei der Gesamtwiderstand stets aus der gesamten Dämpfung berechnet wurde. Die Dämpfung und der scheinbare Widerstand eines Kondensatorkreises wird daher fast ausschließlich durch den Funken und die Energieaufnahme der Kondensatoren bedingt. Der kleinste beobachtete Wert für das logarithmische Dekrement betrug $\gamma = 0{,}60$ und der kleinste Wert des Gesamtwiderstandes war $w = 0{,}52$ Ohm.

Das logarithmische Dekrement und der Gesamtwiderstand nimmt unter sonst gleichen Bedingungen mit wachsender Funkenlänge erst

Digitized by Google

ab und erreicht für eine Funkenlänge von 0,3 cm bei kleinen Kapazitäten und von 0,6 cm für größere Kapazitäten von 0,001 bis 0,008 Mikrofarad den Mindestwert. Bei wachsender Funkenlänge bis zu 5 cm steigt es innerhalb der Fehlergrenzen nahezu geradlinig an. Man arbeitet demnach in der Praxis mit einer bestimmten Funkenlänge, die je nach der Kapazität des Kreises zwischen 0,3 und 0,6 cm liegt, mit dem größten Nutzeffekt. Der Gesamtwiderstand steigt indes insbesondere bei größeren Kapazitäten so langsam an, daß auch mit weit größeren Funkenlängen noch keine wesentliche Verschlechterung des Wirkungsgrades eintritt. Die Wirkung auf ein lose gekoppeltes System erreicht jedoch unter Umständen erst bei viel größeren Funkenlängen ihren Höchstwert und zwar namentlich dann, wenn sie nur mit der ersten Potenz von γ abnimmt, was streng genommen beim Induzieren auf Bolometer und Dynamometer und angenähert auch beim Induzieren auf den stark gedämpften geradlinigen Sender tatsächlich der Fall ist.

Mit Vergrößerung der Kapazität der Kondensatoren nimmt das logarithmische Dekrement erst schnell, dann aber nur mehr langsam ab, erreicht bei etwa 0,03 Mikrofarad den geringsten Wert und steigt dann wieder langsam an. Der Gesamtwiderstand nimmt dagegen fortwährend ab, jedoch von 0,01 Mikrofarad angefangen nur mehr langsam. Der Gesamtwiderstand steigt mit wachsender Funkenlänge bei kleineren Kapazitäten viel rascher an, als bei großen Kapazitäten. Die Vergrößerung der Selbstinduktion übt unter sonst gleichen Verhältnissen, innerhalb der untersuchten Grenzen wenig Einfluß auf das logarithmische Dekrement aus. Der Gesamtwiderstand nimmt daher nahezu im geraden Verhältnis der Wurzel aus dem Selbstinduktionskoeffizienten zu.

Durch Einschalten von Widerständen w_1 in den Kondensatorkreis nimmt der Gesamtwiderstand w um größere Beträge zu, als dem Zuwachs w_1 entsprechen würde. Es steigt sonach gleichzeitig mit w_1 die Differenz $w - w_1$, also der Funkenwiderstand, an.

Bei Ersatz der Funkenkugeln von 1,5 cm durch solche von 3, 4, 5 cm Durchmesser ändert sich unter sonst gleichen Verhältnissen bis zu einer Funkenlänge von etwa 1 cm nichts. Ueber diese Länge hinaus wächst das logarithmische Dekrement bei größeren Kugeln stärker als bei kleineren. Bei größeren Funkenkugeln nimmt auch das Entladungspotentiale V in ganz anderer Weise zu und steigt der Stromeffekt bei größeren Funkenkugeln und wachsender Funkenlänge viel länger und zu einem viel größeren Höchstwert an.

Digitized by Google

Die Ladung der Kondensatoren mittels Influenzmaschine gibt für das logarithmische Dekrement des Kondensatorkreises die gleichen Werte wie die Ladung mittels Induktors. Die Ladung mittels Influenzmaschine ist jedoch, wenn die gelieferte Elektrizitätsmenge ausreicht, wegen der Ruhe und Regelmäßigkeit, einem Induktor mit gleichmäßig arbeitendem Unterbrecher für die Ladung der Kondensatoren vorzuziehen.

Die aus diesen Messungen gezogenen Schlußfolgerungen für die Praxis der drahtlosen Telegraphie lassen sich mit Nutzen nur auf jene Kondensatorkreise anwenden, welche entweder gar keine oder doch nur in sehr loser Koppelung Energie an andere schwingende Systeme abgeben, da die Versuche auch nur unter diesen Bedingungen durchgeführt wurden.

Entladungen über sehr kurze Funkenstrecken[1]). Der kleinste erreichbare Luftzwischenraum, über welchen ein Funke überspringt, beträgt in der Praxis bei gewöhnlicher Temperatur unter Gleichstromspannung von ungefähr 800 Volt, weniger als 0,25 mm. Die Untersuchung wird gewöhnlich zwischen zwei einander gegenüberliegenden Nadelspitzen, deren eine durch eine Schraube genähert oder entfernt wird, durchgeführt. Hierbei zeigt sich, daß eine Spannung von 250 Volt so lange keinen Funken hervorzurufen vermag, bis nicht vorher die Spitzen in unmittelbaren Kontakt gebracht und sodann etwas weniges auseinander gezogen werden. Dessen ungeachtet liegt die Ursache, daß für Spannungen bis zu 500 Volt keine Funkenentladung beobachtet werden konnte, nur in der mechanischen Unvollkommenheit der Funkenstrecke begründet, da es ja eine bekannte Tatsache ist, daß ein Fritter schon bei wenigen Volt zur Wirkung gelangt und zwar unter Bedingungen, bei welchen die Strecke zwischen zwei gegenüberliegenden Elektroden eine mikroskopische Länge hat.

Prof. Karl Kinsley veröffentlichte nun in dem Philosophical Magazin einen Aufsatz über die Entladungen zwischen sehr kurzen Funkenstrecken, als die Ergebnisse seiner Untersuchungen, die zu bemerkenswerten Ergebnissen führten und ein Licht auf die Wirkungsweise des Fritters zu werfen geeignet sind. Für die Funkenstrecke wurden als Elektroden statt der Nadeln verhältnismäßig starke polierte Metallflächen aus einer Platin-Iridiumlegierung verwendet. Die Form der Elektroden war die der Knopf- und Platten-

[1]) E. W. Bd. 45, S. 963.

Digitized by Google

type, wobei die Platte eine leichte Rundung aufwies. Die Platte wurde festgehalten, wogegen der Knopf durch eine Schraube, welche ihrerseits wieder durch eine endlose Schraube angetrieben wurde, nach Bedarf verschoben werden konnte. Es konnten auf diese Weise außerordentlich kleine Entfernungen zwischen Knopf und Platte erzielt und festgehalten werden. Diese Entfernungen wurden mikroskopisch gemessen. Einige der gemessenen Entfernungen gingen bis auf wenige Bikrons (ein Mikron ist gleich dem millionsten Teile eines Meters und ein Bikron gleich dem tausendsten Teile eines Mikrons), die tatsächlich gemessene kleinste Entfernung betrug 3 Bikron und die Funkenspannung in diesem Falle annähernd 1 Volt. In einem anderen Falle betrug die Spannung nur 0,2 Volt und schien einen noch kleineren Funken von etwa 0,2 Bikron Länge hervorzurufen.

Bei diesen Versuchen wurden besondere Vorsichtsmaßregeln getroffen, um jeden Staub von der Luftstrecke auszuschließen und die Temperatur stets auf gleicher Höhe zu erhalten. Trotzdem waren die an verschiedenen Tagen erhaltenen Ergebnisse sehr verschieden, wogegen sich für jeden Beobachtungstag die Funkenspannung proportional der Länge der Funkenstrecke erwies. Die Aenderungen der Entfernungen bewegten sich zwischen 1,2 bis 8 Bikrons für das Volt. Ueber die Ursachen dieser Aenderungen wird jedoch keine Aufklärung gegeben. Festgestellt wurde jedoch, daß die einem Volt entsprechende Funkenlänge mit der Zeit anstieg. So betrug in einem Falle, nachdem die Funkenstrecke 5 Stunden lang von der umgebenden Luft abgeschlossen war, die Funkenlänge 1,2 Bikron für das Volt und nach 22 Stunden war diese Länge auf 1,4 Bikron gestiegen. Die Funkenlänge stieg ferner immer durch das Waschen der Elektroden mit Alkohol und nachherigem Betupfen mit einem weichen Baumwollrad. Bei diesen Versuchen wurden auch sehr interessante Beobachtungen über die Erscheinung der Kohärenz gemacht, die sich bei dieser Vorrichtung zeigten. Werden zwei reine Kontaktflächen aneinander gepreßt, so ist ihr Kontaktwiderstand ganz klein und beträgt ungefähr $^1/_{10}$ Ohm. Werden diese beiden Elektroden langsam voneinander getrennt, so steigt der Widerstand, noch bevor die Kontinuität zerstört ist, rasch an und zwar annähernd, nachdem die Bewegung 30 Bikrons erreicht hat. Dies ist naturgemäß nur der Elastizität zuzuschreiben. Es ist anzunehmen, daß zwei vollkommen starre, jeder Nachgiebigkeit beraubte Körper den elektrischen Kontakt schon bei einer Trennungsbewegung von 1 Bikron unterbrechen würden. Wird nun, nachdem die Diskontinuität wieder erreicht ist, also bei einer Entfernung von

Digitized by Google

annähernd 100 Bikron, ein Funke zwischen den Elektroden überspringen gelassen, so findet eine Frittung der Oberflächen statt und wird hierdurch der Widerstand neuerdings sehr klein. Die Oberflächen erscheinen nun zusammengeschweißt, denn sie können nunmehr bis auf 700 Bikron auseinandergezogen werden, ehe die Kontinuität aufhört. Während des Auseinanderziehens steigt der Widerstand von einem Bruchteil eines Ohm bis 115 Ohm stetig an und erreicht den letzten Wert unmittelbar vor der Unterbrechung. Es wurde gezeigt, daß der Widerstand der Kohärenz 2 Ohm erreicht, wenn die Elektroden ungefähr um die Hälfte jenes Weges getrennt sind, bei welchem die vollständige Unterbrechung eintritt. Der mittlere Durchmesser eines Platin-Iridiumdrahtes von dieser Länge würde 440 Bikrons betragen und würde der Draht bei einem durchaus gleichförmigen Durchmesser annähernd ebenso lang sein als breit. Ueber diesen Stand der Trennung hinaus müßte der mittlere Durchmesser entsprechend der beobachteten Widerstandszunahme sehr rasch abnehmen.

Es zieht sich aus diesen Beobachtungen der Schluß, daß Platin-Iridiumoberflächen, die ungefähr 100 Bikron voneinander abstehen, unter der Einwirkung von wenigen Volt zum Fritten gelangen und den Zwischenspalt dauernd überbrücken. Nach Eintritt des Frittens sind die Flächen örtlich zusammengeschweißt. Werden nun die Flächen auseinandergezogen, so ziehen diese einen Metalldraht bis auf das Siebenfache jener Entfernung aus, bei welcher das Fritten eintrat. Der Draht entspricht einem Doppelkonus mit rasch abnehmendem Durchmesser gegen die Mitte zu.

Lodge stellt das Fritten als elektrostatische Erscheinung dar und nimmt an, daß, wenn zwei entgegengesetzte Elektroden sehr nahe aneinander gebracht werden, die elektrostatische Anziehung das zwischenliegende Gas oder den flüssigen Isolator durchbricht. Bringt man zwei metallische Flächen einander so gegenüber, daß alle Teile um 100 Bikron voneinander abstehen, und setzt sie einer Spannung von 20 Volt aus, so entspricht dies einer Spannung von zwei Millionen Volt für den Abstand von 1 cm. Dies läßt sich durch eine elektrostatische Anziehung darstellen, die einer Wirkung von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären Druck der Platten gegeneinander entspricht. Es wäre daher in einem solchen Falle mehr zu verwundern, wenn eine Kohärenz nicht eintreten würde, als daß sie stattfindet. Hat die elektrostatische Schweißung einmal stattgefunden und hört die Ursache, welche sie herbeiführte, zu wirken auf, so ist eine sehr geringe Kraft ausreichend, um diese wieder aufzuheben. Wäre beispielsweise die Schweißungsfläche kreisförmig und

Digitized by Google

hätte einen Durchmesser von 500 Bikrons, so würden, die Zugfestigkeit des Eisens als Widerstand angenommen, wenige Milligramm Gewicht genügen, die Unterbrechung wieder herbeizuführen. Es scheint außerdem auch wahrscheinlich, daß die Bruchfestigkeit solcher elektrostatischen Schweißverbindungen viel geringer ist, als die des festen Metalles.

Es würde nun von großem Interesse sein, auch die Funkenlängen zwischen metallischen Elektroden, die nahe dem unmittelbaren Kontakte liegen, auf experimentellem Wege zu bestimmen, wenn der Luftzwischenraum durch einen solchen aus Oel ersetzt würde. Nach der elektrostatischen Theorie müßte die Spannung, welche einem gegebenen elektrischen Gradienten entspricht, in Oel viel größer sein als in Luft, wenn sich dünne Häutchen ebenso verhalten wie dicke Zwischenlagen. Versuch mit Leuchtgas an Stelle von Luft zeigten keinen bemerkenswerten Unterschied.

Klar geht aus den vorbeschriebenen Versuchen das eine hervor, daß die zur Durchbrechung dünner Luftschichten erforderliche elektrische Intensität viel größer ist, als jene, welche zur Durchbrechung dickerer Schichten benötigt wird. So ist zur Durchbrechung einer Luftschicht von 1 cm Dicke eine Spannung von 40000 Volt erforderlich. Bezieht man nun die für die Durchbrechung so dünner Luftschichten wie die gemessenen gefundenen Spannungen auf das Zentimeter, so entspricht dies einer Spannung von 1250000 bis 8000000 Volt. Es müssen sonach solche dünne Luftschichten ganz besondere Eigenschaften haben.

Untersuchungen über den elektrischen Funken, besonders über die physikalischen Bedingungen für sein Erlöschen[1]). John Koch. Ueber die Erscheinung, daß ein durch eine Funkenstrecke entladener Kondensator sich im allgemeinen nicht vollständig entladet, wurden schon von Heydweiller Untersuchungen in quantitativer Beziehung durchgeführt. Die Ursache dieser unvollständigen Entladung liegt teilweise darin, daß die Polarisation des Dielektrikums zwischen den Kondensatorbelegungen während der Entladungszeit nicht zur Aufhebung gelangt, was als elektrischer Rückstand bezeichnet wird, und teilweise in dem Aufhören der Entladung, bevor die verfügbare Ladung völlig erschöpft ist, so daß noch eine Restladung verbleibt.

Bei der Untersuchung der Restladung durch Koch wurden die Kugeln eines Funkenmikrometers bezw. der mit ihnen verbundene

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 15, S. 866.

Digitized by Google

Kondensator auf ein bestimmtes Potential geladen und dann die Kugeln einander langsam genähert, bis ein Funke übersprang, und sodann gleich das Potentiale bestimmt. Hierbei ergab sich, daß das Elektrodenmaterial (Messing, Eisen, Zink und Zinn) keinen Einfluß auf das Restpotential hat.

Das Erlöschen des Funkens läßt sich rein elektrodynamisch, wie das des elektrischen Lichtbogens erklären. Während der Glimmstromphase, also bei hinreichend großen Widerständen in der Leitung von dem Kondensator zum Funkenmikrometer scheint eine Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Elektrodenspannung im Funken nicht vorhanden zu sein. Die aus den Bestimmungen über das Restpotential berechneten Charakteristiken stimmen im großen und ganzen mit den Charakteristiken des stationären Zustandes überein.

Die vom Verfasser für den Zusammenhang von Widerstand und Restpotential, sowie für die totale Energieentwicklung aufgestellten Formeln sind für kleinere Widerstände genauer, als die von Heydweiller.

Ueber die Veränderung der Kapazität von Kondensatoren mit der Temperatur[1]). Bei den Untersuchungen von Terry über die Abhängigkeit der Kapazität von der Temperatur wurde ein d'Arsonvalsches Galvanometer benutzt, dessen Feld aus ringförmigen Scheiben weichen Eisens bestand, die einen Durchmesser von 30 cm und einen Gesamtquerschnitt von ungefähr 4 qcm hatten. Die Wicklung war für 110 Volt Wechselstrom von 60 Perioden bestimmt. Ein Schlitz von 1,5 cm diente zur Aufnahme der beweglichen Spule, die aus 40 Windungen doppelisolierten Drahtes auf eine Holzform gewickelt bestand, und einen Widerstand von nahezu 350 Ohm und einen Selbstinduktionskoeffizienten von 50 Millihenry hatte.

Der Uebelstand, daß die in einem wechselnden Magnetfeld schwingende Spule sich so einstellt, daß sie möglichst wenige Kraftlinien schneidet, wodurch die Empfindlichkeit des Instrumentes bedeutend herabgesetzt wird, läßt sich nun, wie Terry nachweist, durch einen Nebenschlußwiderstand beseitigen. Durch diesen Widerstand läßt sich auch eine passende Empfindlichkeit herstellen und außerdem das Galvanometer stets wieder auf den Nullpunkt zurückbringen. Mit dem so abgeänderten Instrumente wurde die für Messung von Unterschieden kleiner Kapazitäten erforderliche Empfindlichkeit erreicht.

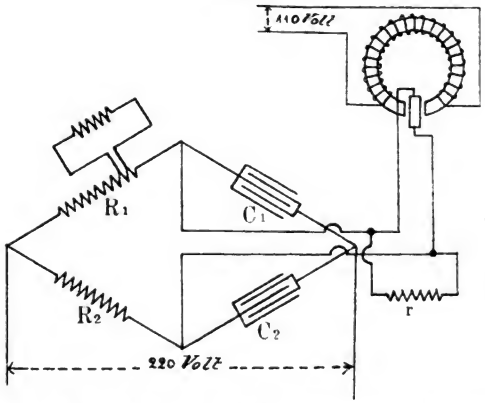
Für die eigentlichen Messungen wurde die Brückenschaltung nach

[1]) Physical Review Bd. 31, S. 3.

Digitized by Google

Fig. 17 angewendet. C_1 und C_2 sind die beiden zu vergleichenden Kapazitäten mit einem Meßbereich von 0,05 bis 1 Mikrofarad. C_1 diente als Vergleichskapazität, während C_2 die zu messende darstellt, für welche der Temperaturskoeffizient bestimmt werden sollte. R_1 und R_2 sind Meßwiderstände, die eine Genauigkeit von 0,01 v. H. hatten und von denen R_1 für eine feine Regelung mit einem Nebenschlußwiderstande verbunden war. r ist der Nebenschluß des Galvanometers. Die Brücke wurde an eine Wechselstromspannung von 220 Volt, die Feldwicklung des Galvanometers an eine solche von 110 Volt angelegt.

Fig. 17.



Für die Messung wurden beide Kapazitäten in Blechgefäße eingesetzt, die in Wasserbäder eintauchten, wobei C_1 auf gleichbleibender Temperatur erhalten, C_2 hingegen auf verschiedene Temperaturen zwischen 16 ° und 33 ° C. gebracht wurde. Das Wasser in dem zweiten Gefäß wurde durch kleine Rührwerke ständig in Bewegung und mittels eines Thermostaten auf der gewünschten Temperatur mit einer Unsicherheit von 0,1 ° C. erhalten. Wegen der großen Wärmekapazität der Kondensatoren dauerte es gewöhnlich 48 Stunden, ehe die Temperatur an allen Stellen die gleiche war.

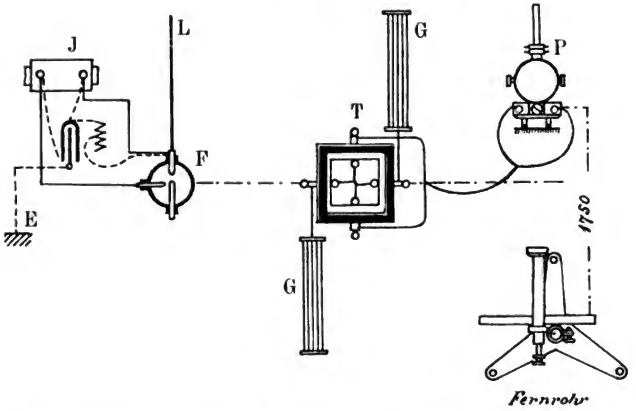
Die einzelnen Kapazitäten des Kondensators C_2 wurden nun auf die angegebene Weise für verschiedene Temperaturen bestimmt und nach der Beziehung

$$C_2 = C_1 \frac{R_1}{R_2}$$

Digitized by Google

berechnet und aus diesen sodann die einschlägigen Temperaturkoeffizienten rechnerisch bestimmt. Von den untersuchten fünf Kondensatoren betrugen für die zwei an den äußeren Grenzen liegenden Kondensatoren mit den angegebenen Kapazitätswerten $C_2 = 0{,}05$ und $C_2 = 0{,}2$ die zugehörigen Temperaturkoeffizienten $-0{,}00011$ und $-0{,}00033$, zwischen welchen sich die gleichen Koeffizienten für die anderen drei Kapazitätswerte bewegten. In der graphischen Darstellung sind die die Abhängigkeit der Kapazitäten von der Temperatur darstellenden Linien Gerade, die sich mit zunehmender Temperatur der Abszissenachse nähern. Auf Grund der gewonnenen Ergebnisse wird zu den Schlüssen gelangt, daß

Fig. 18.



der Temperaturkoeffizient eines Kondensators in seinem Werte stark von der Bauart abzuhängen scheint und eine Größe annimmt, die bei genauen Messungen nicht vernachlässigt werden kann.

Strahlung von Spulen[1]). Eugen Nesper verwendete bei seinen Versuchen als Wellenanzeiger ein Thermoelement T nach Klemenčič, welches mit Gitterwellenfängern G und einem Panzergalvanometer P von 10 bis 13 Ampere Empfindlichkeit verbunden war. (Fig. 18). Ein solcher Wellenanzeiger wirkt bei Laboratoriumsversuchen besser ohne Kapazität, weil dann der Funkenwechsel viel rascher erfolgt und der Wärmestrom im Element ein kontinuierlicher

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 15, S. 768.

Digitized by Google

ist, indem das Thermoelement zwischen den einzelnen auftreffenden Wellenzügen nicht Zeit hat, sich abzukühlen. Als Oszillator wurde ein Tropföloszillator mit regelmäßigem Zu- und Abfluß von Petroleum benutzt und hat sich dieser bestens bewährt. Zunächst wurde untersucht, ob man mit senkrechten Drähten günstiger arbeitet als mit wagrechten und ergaben die Versuche mit geraden blanken Kupferdrähten am Sender und Empfänger bei wechselndem Abstande, daß die Ausstrahlung und Aufnahme wagrecht polarisierter Wellen jener von senkrecht polarisierten Wellen stark überlegen ist.

Der Vergleich der Wirkung eines geradlinig ausgespannten Drahtes mit der des gleichen Drahtes in Spulenform, wobei am Empfänger Gitter als Empfangsleiter verwendet wurden, ergab, daß unter sonst gleichen Bedingungen der gestreckte Draht ungefähr hundertmal mehr Energie ausstrahlt, als der zur Spule gewickelte, wogegen der Ausstrahlungscharakter in beiden Fällen übereinstimmt. Die Strahlung einer Spule wird umso ausgiebiger, je mehr bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen der Durchmesser verringert wird.

Die Energieausstrahlung eines gleichsinnig gewundenen Spulenpaares ist in der Entfernung von etwa $^1/_2$ Wellenlänge verschwindend klein. Es ließ sich jedoch eine Verschiedenheit hinsichtlich der Ausstrahlung bei positiv und negativ gewundenen Spulen mit Hilfe der photographischen Platte sowohl qualitativ als quantitativ nachweisen.

Die Abhängigkeit der Spulenstrahlung von der Windungszahl ist eine dreifache. Von $^1/_4$ zu $^1/_4$ Windung folgen kleinere Maxima auf Minima. Größere Maxima treten nach annähernd 4,4 Windungen auf. Außerdem lassen sich Schwebungen mit der Periodenzahl $5\,^1/_4\,\pi$ bemerken.

Ein hinter dem Strahlungsträger angebrachter Spiegel läßt deutliche Maxima und Minima der Energieübertragung als Funktion des Abstandes zwischen Oszillator und Spiegel erkennen. Maxima treten auf bei $^1/_4$, $^3/_4$, $^5/_4$ . . . Wellenlängen, Minima bei $^1/_2$, $^2/_2$, $^4/_2$ . . . Wellenlängen. Auf Grund dieser Erscheinung läßt sich die Wellenlänge von Spulen und Sendedrähten einfach bestimmen.

In die Spule gebrachtes Eisen drosselt die Strahlung umso mehr ab, je feiner es verteilt ist. Werden die Spulen in Flüssigkeiten von verschiedenen Dielektrizitätskonstanten gebracht, so lassen sich beträchtliche Unterschiede in der Stärke der Strahlung feststellen.

Digitized by Google

C. Untersuchungen über den Einfluß der Erde bei der drahtlosen Telegraphie.

Ueber diesen Gegenstand liegt eine Reihe von Untersuchungen vor, deren Ergebnisse im allgemeinen darin übereinstimmen, daß dem elektrischen Gegengewichte an Stelle der unmittelbaren Erdung der Luftdrähte der Vorzug zu geben ist, und sich durch ein solches, abgesehen von dem hierdurch ermöglichten teilweisen Ausschlusse atmosphärischer Störungen die Reichweiten erheblich vergrößern sollen. Wiewohl nun diese Versuche zwar teilweise im Freien durchgeführt wurden und so tatsächlich den natürlichen Verhältnissen einigermaßen Rechnung trugen, können die Ergebnisse dennoch nicht als feststehend angesehen werden, da sich die gebrauchten Einrichtungen wegen ihrer geringen Leistungsfähigkeit mit jenen in der praktischen Telegraphie nicht vergleichen lassen und auch die Entfernungen weit geringer waren, als solche im praktischen Betriebe überbrückt werden. Es bedürfen sonach die gezogenen Schlußfolgerungen noch einer Verifizierung durch eingehende Versuche im praktischen Betriebe, wozu die verschiedenen Gesellschaften für drahtlose Telegraphie an ihren bereits eingerichteten Stationen reichlich Gelegenheit finden. Tatsächlich wird heute der Erdung, namentlich dort, wo es sich um Ueberwindung größerer Entfernungen handelt, noch immer der Vorzug gegeben. Durch diese Untersuchungen, deren Ergebnisse nachstehend vorgeführt werden, lassen sich jedoch neue Gesichtspunkte für die Anordnung und die Form des Gegengewichtes finden, die vielleicht dazu beitragen, eine endgiltige Klärung der heute noch strittigen Frage zu bringen.

a) Die Untersuchungen von Dr. J. Sachs[1]). Die Erde spielt selbst, wenn von einer unmittelbaren Erdung des Luftdrahtes abgesehen und dadurch ihr Einfluß auf die Stromverteilung im Sender ausgeschaltet wird, also wenn sie durch eine Gegenkapazität ersetzt ist, eine gewisse Rolle, indem sie auf das elektromagnetische Feld einer Hertzschen Welle einen bestimmten Einfluß ausübt, was schon daraus erhellt, daß die Uebertragung der elektromagnetischen Energie über Wasser viel besser vor sich geht als über Erde.

Um diesen Einfluß festzustellen und durch zahlenmäßige Angaben zu belegen, wurde ein Sender und Empfänger nach dem Braunschen System mit elektromagnetischer Koppelung ausgebildet, der Fritter im

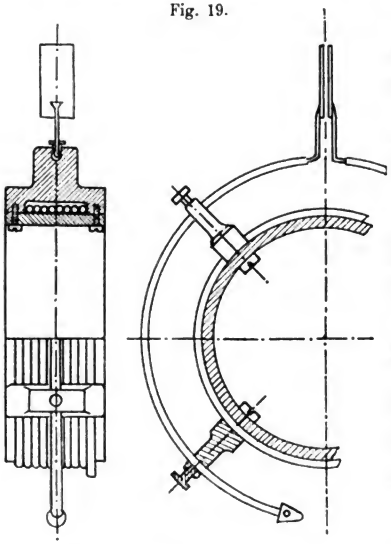
[1]) D. P. J. Bd. 320, Heft 29, 30 und 31.

Digitized by Google

Empfängerkreise jedoch durch ein Thermoelement ersetzt, wodurch beide Einrichtungen ganz symmetrisch gebaut werden konnten, so daß der Empfänger ein genaues Spiegelbild des Senders wurde.

Das der Erregung dienende Induktorium war in der Nähe des Senders aufgestellt und wurde von einer Gleichstromquelle gespeist. Das Thermoelement wurde durch eine nach und nach bis zu 75 m Länge gesteigerte Leitung mit einem Galvanometer verbunden.

Fig. 19.



Am Sender war eine mit diesem nicht in Resonanz befindliche Spule angebracht, die den Zweck hatte, die vom Sender ausgehende Energie zu messen, bezw. für die Schwankungen der vom Erreger ausgehenden Energie ein Maß zu bilden. Diese als „Standard" bezeichnete Spule führte gleichfalls zu einem Galvanometer. Der Geber bestand aus einem Primärkreis mit Funkenstrecke und Kondensator und der Sekundärkreis aus einer Spule mit nach beiden Seiten angehängten Luftdrähten bezw. Platten.

Der Spulendraht von 2,4 mm Durchmesser mit einer Drahtseele von 0,9 mm Durchmesser wurde auf einen Ebonitring von 87,7 mm äußerem Durchmesser in 10 Windungen aufgewickelt. Die Ganghöhe betrug 2,4 mm und die Höhe der Spule von Mitte zu Mitte der äußersten Drähte gerechnet 22,2 mm und die Gesamtlänge des aufgewickelten Drahtes ohne freie Enden 2832 mm. Die Windungen wurden durch mehrere an beiden Seiten angebrachte Elfenbeinschrauben, sowie durch vier Ebonithalter festgehalten. Durch diese Ebonithalter ging gleichfalls der aus einer Windung blanken Drahtes von 3 mm Durchmesser und 103 mm Flächendurchmesser bestehende Primärkreis. Die Enden der Sekundärspule waren zum Zwecke des Anschlusses etwa

Digitized by Google

70 mm lang freigelegt. Fig. 19 (Längs- und Querschnitte durch die Spule darstellend) läßt die Verhältnisse und Konstruktion des Senders entnehmen.

Die Berechnung der beiden Kreise auf Resonanz erfolgte nach den Angaben von P. Drude[1]) und wurde die Eigenwellenlänge nach der Formel $\frac{1}{2}\,\lambda_0 = f\,l$ ermittelt, worin f ein von $\frac{h}{2r}$ und $\frac{g}{\delta}$ abhängiger Parameter und l die aufgewickelte Drahtlänge bedeutet. h ist hierin die Höhe, $2r$ der Durchmesser der Spule, g die Ganghöhe und δ der Durchmesser des blanken Drahtes.

Nach den angegebenen Daten der Spule berechnete sich deren Eigenwellenlänge mit $\frac{1}{2}\,\lambda_0 = 610$ cm.

Die Eigenwellenlänge einer solchen Spule, an welche von beiden Seiten gleiche Luftdrähte angehängt werden, berechnet sich nach der Formel

$$\operatorname{tg}\frac{\pi}{2}\cdot\frac{\lambda_0}{\lambda}\operatorname{tg} 2\pi\cdot\frac{l}{\lambda} = \log \text{vulg}\cdot\frac{l}{\rho}\,\frac{f}{n}\sqrt{\frac{h}{2r}}\cdot\varphi,$$

worin

λ_0 die Eigenwelle der Spule ohne Luftdrähte = 610 cm,
λ „ „ „ „ mit Luftdrähten,
l die Länge der Luftdrähte = 300 cm,
ρ den Halbmesser der Luftdrähte = 0,7 cm,
f den bereits erwähnten Parameter = 2,15,
φ einen anderen gleichfalls von $\frac{h}{2r}$ und $\frac{g}{\delta}$ abhängigen Parameter, berechnet mit 1,72 und
n die Anzahl der Windungen der Spule = 10

bedeutet und berechnet sich daher

$$\lambda = 3120 \text{ cm}.$$

Die Selbstinduktion eines Primärkreises der aus einem Drahte von der Länge l und dem Durchmesser 2ρ besteht und eine Kreisfläche vom Radius r einschließt, berechnet sich nach M. Wien[2]) aus

$$L = 2l\left(\lg \text{nat}\,\frac{8r}{\rho} - 2\right)$$

für den vorliegenden Fall mit $L = 230$ cm und muß demnach die zugehörige Kapazität nach

$$\lambda = 2\pi\sqrt{LC}$$

$C = 1070$ cm sein.

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 9, S. 293 und 590, Bd. 11, S. 957.
[2]) Wied. Ann. 53, S. 931.

Digitized by Google

Die Dielektrizitätskonstante des verwendeten Glasplattenkondensators wurde nach der Methode von Drude[1]) mit 7 und die Fläche des Kondensators aus der Formel

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi d},$$

worin d die Dicke der Platte ist, mit 250 qcm bestimmt.

Für die Erleichterung der Hantierung bei den Vorversuchen im Zimmer wurde eine Platte aus Zinkblech hergestellt, die einen der Luftdrähte ersetzen sollte. Die Größe der Platte berechnete sich nach Drude[2]) aus der Formel

$$\sqrt{S} = \frac{0{,}603}{\log \text{vulg} \frac{l}{\rho}} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \operatorname{tg} 2\pi \frac{l - l'}{\lambda},$$

worin S die Oberfläche der Platte, l die Länge des Luftdrahtes, ρ dessen Halbmesser, λ die Eigenwellenlänge und l' die Länge des Zuführungsdrahtes, die hier 20 cm betrug, mit rund 5150 qcm. Die Elektroden der Funkenstrecke bestanden aus Zink und waren die Zuführungsdrähte an diese angelötet. Der Empfänger zeigte die ganz gleiche Bauart wie der Sender, nur wurde an Stelle der Funkenstrecke ein Thermoelement aus Konstantan und Eisen von je 0,05 mm, das in der Mitte gelötet war und einen Widerstand von 1,14 bis 1,19 Ohm hatte, angebracht.

Ein ähnliches Element befand sich auch an dem erwähnten Standard, der ursprünglich dicht neben der Senderspule und achsial mit ihr angebracht war, später aber weiter entfernt wurde. Der Standard bestand aus 10 Windungen isolierten Drahtes von 2,4 mm mit einer Drahtseele von 0,9 mm Durchmesser und hatte auch sonst die gleichen Abmessungen wie die Senderspule. Die Enden der Windung waren durch ein gleiches Thermoelement wie der Empfänger von 1,02 bis 1,01 Ohm Widerstand geschlossen. Ein solches Thermoelement brennt schon bei einem Strome von 0,45 Ampere durch.

Die Glasplattenkondensatoren bestanden aus 1,3 mm dickem Glase und waren mit 0,1 mm dicker Bleifolie bedeckt, die mit Terpentin an das Glas geheftet wurde.

Sender und Empfänger waren, um auch im Freien bei jeder Witterung arbeiten zu können, in einen Holzkasten, dessen Seiten-

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 8, S. 336.
[2]) Ann. d. Ph. Bd. 11, S. 990.

Digitized by Google

wände und Deckel durch Lösung einiger Schrauben abgenommen werden konnten, eingebaut.

Für die Messungen wurde ein Du Bois-Rubens Galvanometer verwendet, und zwar waren beide Thermoelemente auf dieses geschaltet. Die Messungen wurden so vorgenommen, daß vorerst einige Ablesungen vom Standard, sodann einige vom Empfänger gemacht wurden. Bei den Versuchen im Freien war das Meßinstrument in einem Zimmer untergebracht. Der Strom wurde regelmäßig 5 Sekunden lang geschlossen gehalten. Die gewonnenen Ergebnisse sind Mittelwerte aus 4 bis 10 Ablesungen.

Die Angaben des Empfängers waren nicht genau proportional mit jenen des Standard, weil zwar beide von dem Funkenpotential und der Dämpfung des Senders aber in verschiedener Weise abhängen, indem der Empfänger mit dem Sender in Resonanz stand, der Standard dagegen nicht.

Für die im Zimmer durchgeführten Vorversuche waren Sender und Empfänger je mit einem Luftdrahte und einer Platte ausgerüstet. Die Untersuchung auf Resonanz zeigte, daß die auf Grund der von Drude gegebenen Formeln berechneten Apparate in scharfer Resonanz standen, da schon eine geringe Aenderung der Kapazität eine Verminderung der Ergebnisse auf etwa 0,2 des Ursprünglichen mit sich brachte, sich sonach die erwähnten Formeln als vollkommen zuverlässig erweisen.

Durch verschiedene Einstellung des verwendeten Deprez-Unterbrechers, sowie durch Verwendung verschiedener Spannungen zum Speisen des Induktors ließen sich die Ergebnisse innerhalb weiter Grenzen abändern. Der Einfluß der Standardspule auf die Ergebnisse war ein geringer, da selbst, wenn die Spule koachsial dicht neben der Senderspule aufgestellt wurde, nur eine Verminderung der Wirkung um 5 v. H. festgestellt wurde.

Die Apparatekästen übten auf die Uebertragung keinen merklichen Einfluß aus, hingegen zeigte sich, daß die Lage der Luftdrähte und der Platten je nach der Entfernung eine wechselnde Einwirkung aufwiesen. Bei einer Entfernung von 280 cm von Mitte der Sender- bis Mitte der Empfängerspule gerechnet, war die günstigste Lage, wenn die Luftdrähte lothrecht und die Platten wagrecht gerichtet wurden, und zeigte sich hierbei eine beinahe doppelt so gute Uebertragung, wie bei jeder anderen Lage der Luftdrähte und der Platten. Bei einer Entfernung von 660 cm hingegen zeigt sich die beste Uebertragung, wenn der Senderluftdraht lotrecht, der Empfängerluftdraht und die

Digitized by Google

beiden Platten wagrecht gerichtet waren. Die Ursache dieser Erscheinung dürfte wohl darin gelegen gewesen sein, daß an den Wänden und Leitungen, die sich im Zimmer befanden, Reflexionen aller Art bestanden, und können daher aus in geschlossenen Räumen gewonnenen Ergebnissen Schlüsse auf deren Anwendung für die drahtlose Telegraphie nur mit Vorsicht gezogen werden.

Bei den Messungen im Freien wurden Sender und Empfänger so aufgestellt, daß die Verbindungslinie zwischen beiden parallel mit der Front eines Gebäudes lag und von diesem 25 m entfernt war. Um den Einfluß zu untersuchen, welchen die Zuführungsdrähte zum Induktor und zum Empfänger ausüben, wurde dicht an dem Induktorium eine Akkumulatorenbatterie und in einiger Entfernung davon das Galvanometer für die Standardablesungen aufgestellt. Vom Empfänger führte jedoch ein isolierter Draht in das Gebäudeinnere, zu dem daselbst untergebrachten Galvanometer von Du Bois-Rubens. Es wurde nun einmal Strom aus der im Freien stehenden Batterie und ein andermal aus der im Gebäude untergebrachten Batterie entnommen. Es mußte hierbei aber die Primärspannung bei jedem Batteriewechsel geändert werden, da der Strom aus dem Gebäude durch eine lange mit großer Selbstinduktion behaftete Leitung zugeführt wurde.

Es zeigte sich hierbei, daß ein in der Vertikalebene des Luftdrahtes liegender Draht, sofern er dem Luftdrahte nicht zu nahe gebracht wird oder ihn gar berührt, auf die Ergebnisse keinen Einfluß hat.

Um zu untersuchen, welchen Einfluß ein zwischen Sender und Empfänger ausgespannter aber beide nicht berührender Draht ausübt, wurde ein isolierter Draht auf die Erde gelegt und dicht an die Apparate herangeführt. Auch hier konnte eine Beeinflussung der Ergebnisse durch den Draht nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über den Einfluß der gegenseitigen Lage der Luftdrähte, der Platten und Wicklungen des Senders und Empfängers sind in nachstehender Tabelle festgelegt und bedeutet in der bildlichen Darstellung der dünne Strich den Luftdraht, die Zickzacklinie die Wicklung und der dicke Strich die Platte.

Digitized by Google

Tabelle 1.

Entfernung zwischen den Apparaten 30 m. Höhe über Erde 1 m.

Versuch Nr.	Lage der Luftdrähte, Platten und Wicklungen		Ausschläge
	Sender	Empfänger	
1			71
2			98
3			9
4			5
5			12
6			16
7			165
8			53

Digitized by Google

Es ergibt sich aus dieser Zusammenstellung, daß 1. senkrechte Luftdrähte und Platten günstiger wirken als wagrechte. 2. das Strahlungsvermögen eines Luftdrahtes größer ist als das einer Platte und 3. die Lage der Sender- und Empfängerwicklung zum Luftdrahte von großem Einflusse ist.

Um die unter 2. und 3. festgelegten Beobachtungen noch weiters zu bestätigen, wurden noch folgende Versuche bei verschiedenen Höhen über Erde und 30 m Entfernung durchgeführt.

Sender und Empfänger wurden in die Lage 7 der Tabelle gebracht und einmal mit der Platte, das anderemal mit einem Luftdrahte nach unten versehen. Es zeigte sich hierbei, daß das Strahlungsvermögen eines Systemes mit Luftdrähten nach oben und unten drei- bis viermal so groß, als das eines Systemes mit nur einem Luftdrahte und einer Platte.

Das Mittel aus sechs Ablesungen der Versuchsanordnung 1 und 7 ergab ferner, daß die Wicklung des Teslatransformators in einer Vertikalebene zum Luftdrahte liegen soll.

Es dürfte bei der Anordnung 1 eine Verzerrung der Welle erfolgen, da die magnetischen Kraftlinien der Spule mit den Kraftlinien des Luftdrahtes in einer Ebene liegen und sich daher gegenseitig verzerren müssen, während bei der Anordnung 7 die Kraftlinien in zwei zueinander senkrecht stehenden Ebenen liegen und sich daher nicht beeinflussen.

Es wurden auch Untersuchungen unternommen, den Einfluß belaubter Bäume festzustellen, aus welchen hervorzugehen scheint, daß diese sich im trockenen Zustande ziemlich neutral verhalten, aber, und zwar im direkten Verhältnis zur aufgenommenen Feuchtigkeit, im feuchten Zustande als Leiter wirken.

Zur Untersuchung der Rolle der Erde als Kapazitätsersatz wurde die Erdverbindung so hergestellt, daß statt der Platte ein Draht von 2 mm Durchmesser mit einer angelöteten Platte tief in die Erde versenkt wurde. Es trat hierbei, wie aus der Tabelle 2 zu entnehmen ist, ein Nachlassen in der Wirkung ein.

Der Unterschied der Ergebnisse in Spalte 2 und 4 dürfte darauf zurückzuführen sein, daß im ersten Falle das Zustandekommen einer richtigen Welle nicht beeinträchtigt wurde.

Bei Prüfung des Einflusses, den die Erde auf die Fortpflanzung der Energie ausübt, wurde von dem Gesichtspunkte ausgegangen, daß sich dieser Einfluß, wenn überhaupt vorhanden, mit der Entfernung über Erde ändern muß. Es wurden daher

Digitized by Google

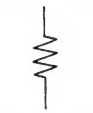
die Entfernungen von Erde stufenweise bis zu etwa 4 m Höhe verändert.

Tabelle 2.

Sender und Empfänger in 30 m Entfernung.
1 m über Erde.

1	2	3	4	5
Sender \ mit Empfänger / Platten	Sender mit Platte, Empfänger an Erde	Sender an Erde, Empfänger mit Platte	Sender \ an Erde Empfänger /	Sender \ mit Empfänger / Platten
240	160	95	116	240

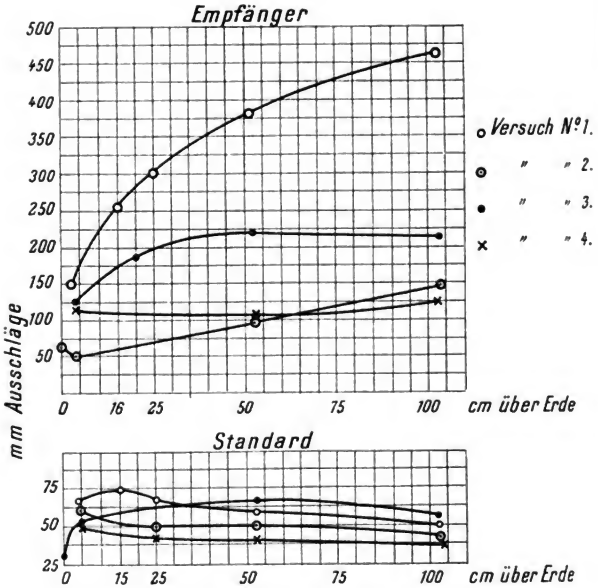
Tabelle 3.

Versuch Nr.	Anordnung des Senders und Empfängers	Entfernung zwischen Sender und Empfänger	Vorgeschaltet vor dem Empfänger	Bemerkungen
1		10 m	20 Ohm	Sender und Empfänger gleich hoch
2		30 „	0 „	desgl.
3	Auf dem Versuchsfelde sind Bäume vorhanden	10 „	20 „	Nur Empfänger in die Höhe
4		10 „	20 „	Nur Sender in die Höhe
5		30 m	20 Ohm	Sender und Empfänger gleich hoch
6		30 „	20 „	desgl.
7		30 „	20 „	desgl.
8	Bäume entfernt	30 „	20 „	desgl.
9		30 m	150 Ohm	Sender und Empfänger gleich hoch

Aus der Tabelle 3 ist die Anordnung der Versuche zu entnehmen, während die graphischen Darstellungen in Fig. 20 und 21 die erzielten Ergebnisse bringen. In diesen Darstellungen bezieht sich

Digitized by Google

Fig. 20.



die der Kurvenbezeichnung beigesetzte Zahl auf die zugehörige Versuchsnummer. Es wurde bei diesen Versuchen stets von der untersten Lage ausgegangen, bis die höchste Lage erreicht war und dann in den gleichen Zwischenstufen wieder an den Ausgangspunkt zurückgekehrt.

Tabelle 4 gibt die Ergebnisse einer anderen Versuchsanordnung. Aus diesen Ergebnissen folgert sich:

1. Die Uebertragung ist günstiger, wenn man höher über der Erde ist (Kurve 1 und 5).
2. Der Standard zeigt bei 1 m über Erde ein ausgesprochenes Minimum (Kurve 4).
3. Das Ergebnis der Uebertragung wird ein anderes, je nachdem man nur mit dem Sender (Kurve 4) oder nur mit dem Empfänger (Kurve 3) in die Höhe geht.

Digitized by Google

Fig. 21.

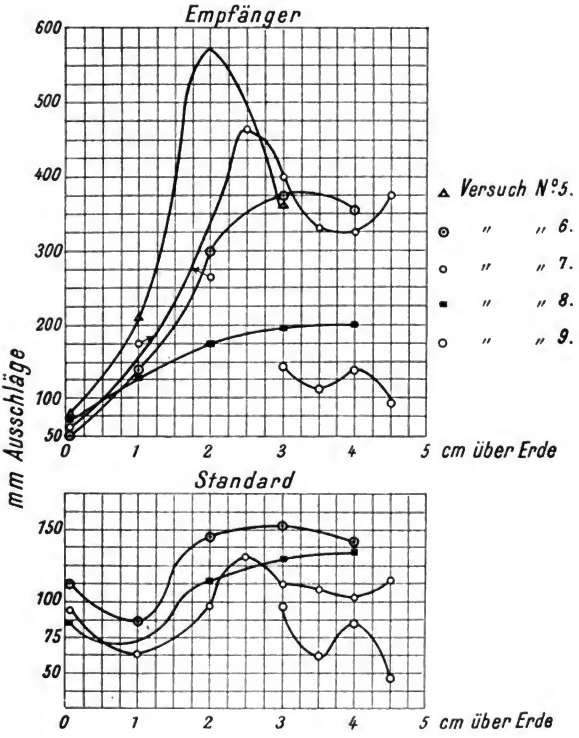


Tabelle 4.

Sender und Empfänger gleichmäßig hoch.
Entfernung 30 m ohne Bäume.
Vorgeschaltet 0 Ohm.

Höhe über Erde	Standard	Empfänger	E/St.
150 cm	77	22	0,286
400 „	90	116	1,29
400 „	73	110	1,51
150 „	61	16	0,26

Digitized by Google

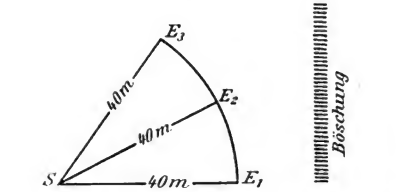
Für die Erklärung der Erscheinung in Kurve 1 und 2 muß die Erde als ein stark absorbierendes, schwachspiegelndes Medium aufgefaßt werden. Es ist dann anzunehmen, daß mit Näherung an die Erde die Dämpfung wächst, wodurch die unmittelbare Wirkung auf den Standard sinkt. Erst bei Näherung bis auf 1 m an die Erde beginnt die Spiegelung zu wirken und hebt in Bezug auf den Standard zum Teil die abschwächende Wirkung der Absorption auf.

Eine Reihe anderer Untersuchungen, insbesondere unter Benutzung einer Böschung, deren Schirmwirkung aus Tab. 5 zu entnehmen ist, weisen darauf hin, daß die Ansicht, als ob die Erde die Uebertragung begünstigt oder sie überhaupt erst möglich macht, nicht begründet ist.

Die Ergebnisse dieser Versuche widersprechen auch der von Lecher ausgesprochenen Ansicht, daß ein geerdeter Luftdraht am Fußpunkte die Erde elektrisiert und diese sonach bei der Uebertragung von Wellen die Hauptrolle spielt, da, wenn dies der Fall wäre, 1. bei steigender Höhe das Ergebnis abnehmen und 2. ein zwischen Sender und Empfänger liegender Draht als vollkommener Leiter die ganze Uebertragung übernehmen müßte, während gerade das Gegenteil beobachtet wurde.

Tabelle 5.

Sender und Empfänger 3 m über Erde in 40 m Entfernung voneinander.
Vor Standard und Empfänger 20 Ohm vorgeschaltet.



Beobachtungspunkt	Standard	Empfänger	Entfernung von der Böschung
1	120	265	5 m
2	120	300	10 „
3	120	550	20 „

Digitized by Google

Hebt man nur den Empfänger in die Höhe (Kurve 3, Fig. 20), so steigt die Uebertragung schwächer an, als wenn beide Apparate gleichzeitig gehoben werden. Geht man nur mit dem Sender in die Höhe (Kurve 4), so ist überhaupt keine Steigerung der Wirkung zu bemerken. Es scheint sonach der gleiche Vorgang am Sender und Empfänger auf die Uebertragung nicht gleichmäßig einzuwirken. Diese Annahme wurde durch den folgenden Versuch erwiesen. Drei Personen stellten sich abwechselnd an den Sender und an den Empfänger. Die Ablesungen lieferten die Ergebnisse der Tabelle 6.

Tabelle 6.

Keine Person in der Nähe	398	
3 Personen am Sender	389	Standard zu Beginne, einmal in der Zwischenzeit und am Schlusse beobachtet zeigte nahezu gleichbleibenden Ausschlag
3 Personen am Empfänger	338	
2 Personen am Empfänger	366	
Keine Person	391	
2 Personen am Empfänger	361	
Keine Person	397	

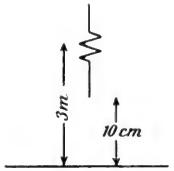
Die Ursache des verschiedenen Verhaltens wird einer verschiedenen Verteilung der elektrischen und magnetischen Kraft in der Nähe des Senders und Empfängers zugeschrieben und scheint sich die schirmende und dämpfende Ursache, bei ihrer Wirkung auf den Empfänger stärker bemerkbar zu machen.

Zur Prüfung der Schirmwirkung eines Drahtes wurde ein etwa 8 m langer Draht von 2 mm Durchmesser in 0,85 m Entfernung vor bezw. hinter dem Sender resp. Empfänger parallel zu den Luftdrähten gespannt. Dieser gänzlich isolierte Draht wurde einmal mit der Erde verbunden, das andere Mal frei in einem Abstande von etwa 10 cm von der Erde frei hängen gelassen. Der Draht kam hierbei immer in einer Ebene zu den beiden Luftdrähten zu liegen.

Als wichtigstes Ergebnis dieser Untersuchung ist festzustellen, daß ein von Erde isolierter Draht nur einen sehr geringen dämpfenden Einfluß ausübt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 7 niedergelegt. Der sich hieraus ergebende größere Einfluß des geerdeten Drahtes gegenüber dem ungeerdeten oder auch weniger gut geerdeten, wird darauf zurückzuführen gesucht, daß durch die Erdung die Eigenschwingung des Drahtes verlangsamt und sich somit der Resonanz zum Sender genähert wird. Auch läßt sich aus diesen Versuchen die Vieldeutigkeit des Begriffes „Erdung“ entnehmen.

Digitized by Google

Tabelle 7.



Sender und Empfänger 3 m über Erde.
Entfernung 30 m.
Vorgeschaltet vor Empfänger 150 Ohm,
vor Standard 20 Ohm.

	I. Vor dem Sender			II. Hinter dem Sender		
	Stand.	Empf.	E/St.	Stand.	Empf.	E/St.
Ohne Draht	87	151	1,74	94	150	1,6
Draht freihängend . . .	93	151	1,64	91	137	1,51
Draht einfach geerdet . .	94	136	1,45	—	—	—
Draht mit Platte an Erde	98	76	0.78	87	94	1,08

	III. Vor dem Empfänger			IV. Hinter dem Empfänger		
	Stand.	Empf.	E/St.	Stand.	Empf.	E/St.
Ohne Draht	89	160	1,8	92	158	1.72
Draht freihängend . . .	91	146	1,61	92	126	1.37
Draht einfach geerdet . .	—	—	—	—	—	—
Draht mit Platte an Erde	93	70	0,75	93	111	1,2

Die Versuche, welche Schirmwirkung bezw. Reflexion das Gebäude selbst ausübt, wurden in der durch die Skizze in Tab. 8 ersichtlichen Weise durchgeführt und ist aus diesen der störende Einfluß von Gebäuden deutlich zu erkennen.

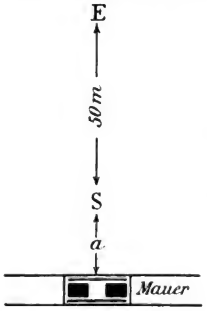


Tabelle 8.

Sender und Empfänger 3 m über Erde.

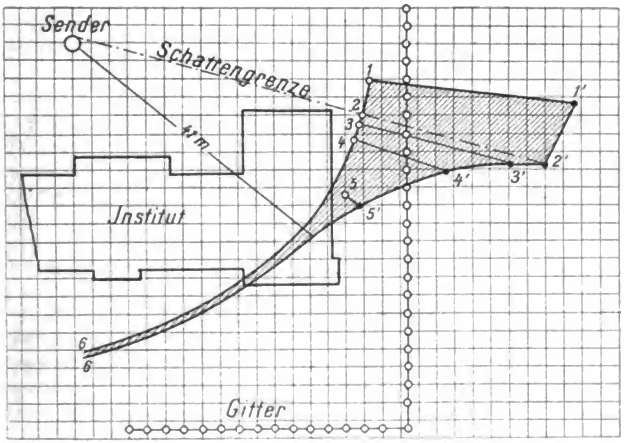
a	Standard	Empfänger	E/St.
20 m	84	177	2,10
130 cm	93	162	1,74
25 „	67	101	1,5

Digitized by Google

Diese Versuche in ihrer Gesamtheit lassen beinahe mit Sicherheit darauf schließen, daß die Erde nicht der Träger der elektrischen Wellen ist, sondern im Gegenteile, wie alle mit ihr in Verbindung stehenden Leiter und Halbleiter mehr oder weniger ungünstig auf die Uebertragung einwirkt.

Für die Untersuchung der Beugung (Fig. 22) blieb der Sender ständig auf seinem Platze, während mit dem Empfänger bei einem Halbmesser von 41 m im Kreise herumgegangen wurde. Die Aufstellungspunkte sind mit 1 bis 6 bezeichnet. Die Größen der Ausschläge sind

Fig. 22.



auf der Verlängerung des zum Aufstellungspunkte zugehörigen Halbmessers aufgetragen und entsprechen diese Ausschläge sohin den Entfernungen 1—1′, 2—2′ u. s. w. Es ist hierbei gelungen, durch die ganze Breite des Gebäudes zu telegraphieren. Daß die Verbindungsleitungen nicht die Träger der Energie waren, erschien dadurch erwiesen, daß unter Hinweglassung des vom Gebäude zum Induktor führenden Drahtes bei Betätigung mit der dicht am Sender stehenden Batterie fast die gleichen Ablesungen erhalten wurden.

Tab. 9 bringt die Ergebnisse von Versuchen über den Einfluß der Entfernung für den Empfang. Bei diesen Versuchen blieb der Sender am Platze und nur der Empfänger wurde entfernt oder ge-

Digitized by Google

nähert. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß der Integraleffekt der Uebertragung ziemlich genau mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt.

Tabelle 9.

Empfänger und Sender in etwa 60 cm Höhe.
Vorgeschaltet 20 Ohm.

24 m		18 m		16 m		14 m		12 m		14 m		16 m		18 m	
Stand.	Empf.	Stand.	Empf.	Stand.	Empf.	Stand.	Empf.	Stand.	Empf.	Stand.	Empf.	Stand.	Empf.	Stand.	Empf.
478	111	406	181	415	240	421	299	396	354	400	308	400	246	384	182
Empfänger dividiert durch Standard:															
0,23		0,45		0,58		0,69		0,88		0,77		0,61		0,47	
Empfänger dividiert durch Standard $\times$ r^2:															
132,48		145,80		148,48		135,24		126,72		150,92		156,16		152,28	
Empfänger $\times$ r^2:															
63 936		58 644		61 440		56 840		50 976		60 368		62 976		58 968	

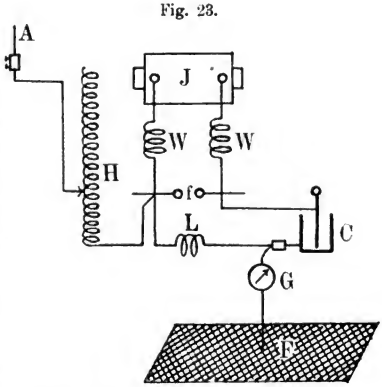
b) Duddell und Taylor[1]) haben mit Unterstützung der englischen Telegraphenverwaltung umfangreiche Versuche zur Feststellung der beim Betriebe drahtloser Telegrapheneinrichtungen in Erscheinung tretenden elektrischen Größen durchgeführt. Diese Versuche fanden im Bushy Park zwischen einer fahrbaren Sendestation und einer festen Empfangsstation statt. Spätere Versuche erstreckten sich auf das Telegraphenschiff Monarch und eine feste Empfängerstation am Martilloturm zu Howth in Irland. Der Sender war ein gekoppelter Sender nach der Braunschen Anordnung (Fig. 23), bei welchem der Luftleiter unmittelbar an den geschlossenen Schwingungskreis angelegt wurde. Der geschlossene Schwingungskreis bestand aus einer Leidener Flaschenbatterie als Kapazität und einer Selbstinduktionsspule. Der eigentliche Sendekreis war mit dem geschlossenen Kreis über eine regelbare Selbstinduktion verbunden und über dessen Selbstinduktionsspule durch ein auf dem Erdboden ausgelegtes großes Drahtnetz geerdet. Die Einstellung der beiden Schwingungskreise auf Resonanz erfolgte

[1]) Journal of the Inst. of El. Eng. Bd. 35, S. 321.

Digitized by Google

mittels der regelbaren Selbstinduktion. Es wurden von dieser so viele Windungen eingeschaltet, bis das in die Erdverbindung eingeschaltete Duddellsche Thermogalvanometer einen Höchstwert des Stromes im Sendekreis und damit Resonanz der beiden Schwingungskreise anzeigte. Eine Aenderung der Wellenlänge wurde durch Veränderung der Zahl oder der Größe der verwendeten Leidener Flaschen bewerkstelligt. In der Empfangsstelle wurde der Luftleiter von 17,1 m Höhe über eine regelbare Selbstinduktion und ein Duddellsches Thermogalvanometer mit der Erde verbunden. Der Erddraht führte, wie in der Sendestelle, an die Mitte eines Drahtnetzes von 23,5 Länge und 1,2 m Breite, welches auf den Erdboden ausgelegt wurde. Der Empfänger wurde auf die richtige, vom Sender ausgehende Welle mittels der regelbaren Selbstinduktion abgestimmt.

Fig. 23.



Als Ergebnis dieser Untersuchung läßt sich folgendes feststellen:

1. Der im Empfangsluftleiter erregte Strom steht in nahezu geradem Verhältnisse zum Produkte aus Stromstärke im Sender und Höhe des Sendeleiters

$$S = k\,h\,A.$$

Die Stromstärke S im Empfangsleiter ist in Mikroampere auszudrücken. In dieser Formel bedeutet ferner k eine Konstante, h die Höhe des Sendeleiters in Meter und A die Stromstärke des Sendeleiters in Ampere.

Die Konstante k wird von Duddell und Taylor mit 20 für eine Welle von 107 m und mit 16,6 für eine solche von 152 m Länge berechnet, wenn Sender und Empfänger sich in Abstimmung befinden. Ohne gegenseitige Abstimmung wird diese Konstante für Wellen von 107 m mit 16,7 und für solche von 152 m mit 5,3 angegeben.

Hatte der Sendeleiter eine Höhe von 12,8 m, betrug die Wellenlänge 152 m und die Stromstärke des Sendeleiters 0,352 Ampere, so

Digitized by Google

wurde auf der 484 m entfernten Empfangsstation eine Stromstärke von 246 Mikroampere beobachtet. Bei Nichtabstimmung wurden nur 81,5 Mikroampere gemessen, sohin nur ein Drittel des Ergebnisses gegenüber der Abstimmung erzielt. Das Verhältnis in der Wirkung zwischen Abstimmung und Nichtabstimmung war bei Verwendung kürzerer Wellen ein günstigeres.

2. Läßt sich die Senderluftleitung nicht hoch genug errichten, so ist der Draht so hoch als möglich zu führen und sodann in dieser Höhe in wagrechter Richtung nach der Empfangsstation hin zu verlängern. Mit einem Luftdrahte von 6,4 m Höhe und 6,1 m Verlängerung wurde auf diese Weise eine bessere Wirkung erzielt als mit einem Luftdrahte von 9,5 m Höhe.

3. Die Verwendung einer isolierten Gegenkapazität an den unteren Enden des Luftleiters ist besser als eine unmittelbare Erdung. So wurden mit den benutzten Drahtnetzen bessere Ergebnisse erzielt, als mit Erdverbindungen unter Benützung des Bleimantels eines Telephonkabels, der Eisendrahtumkleidung eines Unterseekabels, eines in einen Brunnen versenkten Drahtringes u. s. w.

4. Die Stromstärke im Empfängerdrahte wächst von 9,1 m an proportional mit der Höhenzunahme des Sendeleiters. Bei geringeren Höhen steigt die Stromstärke nicht ganz gleichmäßig mit der Höhezunahme des Sendeleiters an.

Für die Berechnung der Stromstärke im Empfangsluftleiter, wobei die Messungen mit dem Duddellschen Thermogalvanometer vorgenommen wurden, dienten die Formeln:

$$S = \frac{0{,}12}{56 + r}$$

für den abgestimmten und

$$S = \frac{0{,}12}{\sqrt{156^2 + (56 + r)^2}}$$

für den nichtabgestimmten Empfänger, worin r den Widerstand der Meßstromkreise bedeutet.

5. Das Produkt aus Stromstärke im Empfänger und der Entfernung zwischen den beiden Stationen ist unveränderlich. Die Stromstärke steht sonach im umgekehrten Verhältnisse zur Entfernung zwischen Sender und Empfänger.

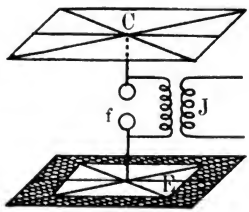
Dieses Gesetz trifft jedoch für kurze Wellen und geringere Entfernungen nicht vollständig zu und dürfte auch dann, wenn größere Gegenstände, wie Gebäude etc., sich zwischen den beiden Stationen

Digitized by Google

befinden, die eine elektrische Schirmwirkung ausüben, kaum anwendbar sein.

c) Leutnant Ll. Evans[1]) fand es im Verlaufe von Untersuchungen der drahtlosen Telegraphie zu Militärzwecken für notwendig, die durch die verschiedenen Erdverbindungen des Luftdrahtes herbeigeführten Wirkungen zu bestimmen. Für diese Zwecke wurde ein Oszillator (Fig. 24), bestehend aus einer quadratischen Kapazität C von 5 m Seitenlänge benützt, die mittels Isolatoren 4,5 m wagrecht über der Erde befestigt wurde. Von dem Mittelpunkte dieser Fläche führte ein lotrechter Draht nach abwärts zu dem Knopfe einer Funkenstrecke f, deren zweiter Knopf in ähnlicher Weise mit einem Drahtnetze E von Eisen gleichfalls 5 m im Quadrat verbunden war. Dieses Netz wurde genau unter der Luftplatte 0,75 m vom Erdboden ebenfalls mittels Isolatoren befestigt. Es wurde sodann der Strom in dem lotrechten Drahte nach Erregung der Funkenstrecke durch den Induktor J gemessen. Eine zweite Messung erfolgte, nachdem die Drahtkapazität mit der Erde durch kurze Drahtstücke verbunden war. Schließlich wurde das Drahtnetz mit einer guten Telegraphenerdleitung verbunden und sodann die Messungen wiederholt. Die Mittelwerte dieser wiederholt durchgeführten Messungen ergaben, daß der Strom durch die schlechte Erde um 56 v. H. und durch die gute Erde um 85 v. H. herabgemindert wurde. Die Entfernung zwischen den beiden Flächen wurde, ebenso wie die Wellenlänge und alle übrigen Faktoren, für alle drei Messungen gleichbleibend erhalten. Um die Güte des Empfanges bei den verschiedenen Verhältnissen feststellen zu können, wurde in einer Entfernung von ungefähr 1000 m ein Empfänger von ähnlicher Ausgestaltung wie der Sender errichtet und mit diesem genau abgestimmt. Die eingelangten Ströme wurden für die drei verschiedenen vorbeschriebenen Anordnungen des Senders ebenfalls gemessen und ergab sich hierbei fast genau das gleiche Verhältnis. Der aus diesen Untersuchungen gezogene Schluß geht dahin, daß irgendwelche Verbindung des Senders oder Empfängers mit der Erde auszuschließen sei.

Fig. 24.



d) Monckton[2]) gelangt auf Grund von durchgeführten Versuchen

[1]) Lond. Electrician, 1. Sept. 1905.

[2]) Lond. Electrician, 15. Sept. 1905.

Digitized by Google

gleichfalls zu dem Schlusse, daß für die meisten Landstationen eine isolierte Kapazität am unteren Ende des Luftdrahtes das beste sei.

Eccles[1]) bespricht die Frage, ob die Sendeleiter geerdet werden sollen oder nicht, in eingehender Weise. Marconis erster Erfolg war der Hauptsache nach wohl nur der Erdung des Luftleiters zuzuschreiben. Die Vorteile der Erdung sind, daß bei der großen Länge des Luftleiters die aufgenommenen Schwingungen verhältnismäßig langsame, somit die entsendeten Wellenlängen sehr groß sind, ferner die Wellen so entsendet werden, daß die elektrische Kraft eines Wellenzuges vom Anfange an in einer lotrechten Ebene liegt und, was teilweise durch das Vorhergehende begründet wird, die freien Enden der Kraftlinien mit der Erdoberfläche verbindet.

Der geerdete Luftdraht ist ferner ein guter Wellenstrahler und auch ein guter Wellenfänger. Lange Wellen erscheinen insbesondere mit Bezug auf die Erscheinung der Diffraktion von Vorteil. Durch die Senkrechtstellung der elektrischen Kraft nahe der Erde werden jene Verluste vermieden, welche sonst durch die Erzeugung nutzloser Ströme entstehen müßten. Die Verbindung der Wellen mit der Erdoberfläche verhindert deren gänzliche Zerstreuung im Raume und gibt ihnen eine solche Führung, daß sie (ähnlich wie der Strom in einem Draht) Hügelketten, ohne in diese einzudringen, überschreiten können.

Lodge beobachtete schon lange die Unzulänglichkeit des geerdeten Luftdrahtes für die Erreichung einer Abstimmung. Sein erster Wellenstrahler hatte fast alle Vorteile des Marconisenders, nur daß er die Wellen nicht an die Erde bindet, somit der hierdurch erreichbaren Vorteile verlustig geht. Auf der anderen Seite wird hierdurch eine vollkommene Unabhängigkeit von der Erdverbindung erreicht und sind damit die mit der Herstellung einer guten Erdverbindung verbundenen Schwierigkeiten beseitigt. Die Aenderungen in der Beschaffenheit der Erde haben für die nicht abgestimmte Funkentelegraphie geringere Bedeutung, spielen aber bei verlangter Abstimmung eine wesentliche Rolle. Bei dem Lodge-Muirheadschen Wellenstrahler, welcher über der schlecht leitenden Erde arbeitet, sind Ohmsche Verluste im Betrage von 50 v. H. der gesamten ausgestrahlten Energie möglich, wogegen beim geerdeten Wellenstrahler die Verluste an Schwingungsenergie aller Wahrscheinlichkeit nach viel geringer sind. Daten hierüber sind so schwierig zu erhalten, daß eine Berechnung

[1]) Lond. Electrician, 27. Okt. 1905.

Digitized by Google

wenig zuverlässige Aufklärung über diese Frage erwarten läßt. Hier kann nur das Experiment die so notwendige Entscheidung über die Frage ob geerdeter oder nichtgeerdeter Sendeleiter bringen.

D. Abstimmungs- und Resonanzversuche.

Die Untersuchungen von Prof. A. Slaby[1]). Die in den F. d. T. III, S. 74 gebrachten Mitteilungen über diese Versuche bilden noch kein Ganzes, da die Untersuchungen z. Z. nicht abgeschlossen waren. Es werden nun hier die Ergebnisse der weiteren Versuche in Ergänzung dieser Mitteilungen auszugsweise vorgeführt und sind diesen in Bezug auf die Form vollständig gleich gehalten. Es konnte hierbei, um Wiederholungen zu vermeiden, nicht vermieden werden, vielfach auf die vorhergehenden Mitteilungen zu verweisen, und sei daher im vornehinein bemerkt, daß es sich bei den Berufungen immer um den in den F. d. T. III gebrachten Auszug handelt, dessen Fortsetzung das folgende darstellt.

III. 3. Die Geschwindigkeit der Elektrizität in Drahtgebilden. Bei den vorhergehenden Versuchen wurde zur Vereinfachung angenommen, daß die Geschwindigkeit der Elektrizität längs eines Leiters, die der Lichtgeschwindigkeit d. i. $v = 3 \cdot 10^6$ cm in der Sekunde sei. Für die Berechnung von Senderanlagen ist aber diese Annahme unzulässig und braucht sich die Elektrizität im Drahte durchaus nicht mit dieser Geschwindigkeit fortzupflanzen. Die Wellenlänge ist ein aus der Schwingungsfrequenz abgeleiteter Begriff, der nur dann eine bestimmte Bedeutung hat, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität bekannt ist. Diese ist aber nur für die Fortpflanzung der Elektrizität im Raume bekannt und hat dann die Bedeutung $\lambda = v \cdot T$, wenn T die Periodenzahl und v die Lichtgeschwindigkeit ist.

Diese Wellenlänge wird nunmehr zur besseren Kennzeichnung als die wahre oder räumliche Wellenlänge bezeichnet.

Wird einem geerdeten senkrechten Drahte eine mit seiner Eigenfrequenz in Resonanz stehende Schwingung aufgedrückt, so ist die Wellenlänge dem Vierfachen der Drahtlänge l gleich. Bezeichnet v' die Geschwindigkeit der Fortpflanzung am Drahte, so ist diese Wellenlänge

$$\lambda' = 4\,l = v'\,T.$$

Teilt sich die elektrische Störung vom Drahte dem umgebenden Raume mit, so pflanzt sich diese daselbst mit der Lichtgeschwindig-

[1]) E. T. Z. 1905, S. 1003, 1025, 1149.

Digitized by Google

keit v fort. Die Periodenzeit der Schwingung bleibt hierbei aber unverändert und hat daher die räumlich fortschreitende Welle die Länge

$$\lambda = v \, . \, T$$

oder es ist

$$\lambda' = \frac{v'}{v} \lambda$$

und sind daher beide Wellenlängen nur dann gleich, wenn die Geschwindigkeit am Drahte mit der Lichtgeschwindigkeit übereinstimmt. Diese Bedingung kann zwar unter gewissen Umständen erfüllt sein, braucht aber nicht immer und nicht mit Notwendigkeit zu bestehen.

Beobachtet man einen frei und isoliert im Raume befindlichen Draht von der Länge l, so nimmt dieser bei Resonanz eine halbe Wellenlänge auf, wobei sich ein Spannungsknoten in der Mitte ausbildet. Es wird hierbei von der Erfahrung ausgegangen, daß ein Draht nur dann mit seiner Eigenfrequenz in Resonanz schwingt, wenn seine Induktanz und Kondensanz gleich sind. Ist nun L der Selbstinduktionskoeffizient des Drahtes für gleiche Strömung in allen Teilen, so ist nach I. 1, S. 79 die Schwingung zu rechnen aus:

$$L' = \frac{2}{\pi} L.$$

Bezeichnet ferner C die Kapazität der Länge l für gleiche Ladung in allen Teilen, so ist nach den Darlegungen in I. 1, S. 75 die reduzierte Kapazität

$$C' = \frac{1}{2\pi} C.$$

Ist $\omega = \frac{2\pi}{T}$, so liefert die Gleichheit zwischen Induktanz und Kondensanz

$$\omega L' = \frac{1}{\omega C'}$$

die Beziehung

$$CL = \frac{\pi^2}{\omega^2}$$

und wenn v' die Elektrizitätsgeschwindigkeit am Drahte, so ist

$$\frac{T v'}{2} = \frac{\lambda'}{2} = l,$$

da die Drahtlänge eine halbe Wellenlänge aufnimmt. Es wird sonach

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi v'}{l}$$

Digitized by Google

und

$$C L = \frac{l^2}{v'^2},$$

wobei C und L im elektromagnetischen Maße auszudrücken sind. Soll C gleichfalls in Zentimetern, d. h. im elektrostatischen Maße ausgedrückt werden, so ist dieses durch v^2 zu dividieren. Kennzeichnet man die Maßsysteme durch die Bezeichnung (m) und (s), so erhält man

$$\frac{C^{(s)}}{v^2} \cdot L^{(m)} = \frac{l^2}{v'^2}$$

oder

$$C^{(s)} L^{(m)} = l^2 \frac{v^2}{v'^2}$$

und

$$l = \frac{v'}{v} \sqrt{C^{(s)} L^{(m)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Für

$$l = \sqrt{C^{(s)} L^{(m)}}$$

schwingt die Elektrizität am Drahte mit Lichtgeschwindigkeit.

Der Selbstinduktionskoeffizient eines Drahtes von der Länge l ist, wenn l vielfach größer als der Drahthalbmesser r

$$L = 2 l \left(\ln \frac{2 l}{r} - 1 + \frac{\mu}{4} \right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

da nun $\ln 2 = 0{,}693$ und μ für den vorliegenden Fall gleich 1 ist, so wird

$$L = 2 l \left(\ln \frac{l}{r} - 0{,}057 \right).$$

In der praktischen Anwendung der Funkentelegraphie beträgt 0,057 nur etwa $\frac{1}{2}$ v. H. von $\ln \frac{l}{r}$, und kann sonach die in I. 1. auf elementarem Wege abgeleitete Formel

$$L = 2 l \ln \frac{l}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

als ausreichend genau benützt werden. Unter Benutzung der an gleicher Stelle abgeleiteten Formel für die Drahtkapazität

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Digitized by Google

ergibt sich

$$\sqrt{CL} = l,$$

das heißt

$$v' = v.$$

An langen dünnen Drähten wäre sonach die Elektrizitätsgeschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit fast vollkommen gleich.

Bei dieser Rechnung wurde aber die Hautwirkung (Skin-Effekt) der schnellen Schwingungen nicht berücksichtigt. Zieht man diese in Betracht, so ergibt sich nach I. 3.

$$L = 2l\left(\ln\frac{2l}{r} - 1\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

und erhält man für verschiedene Werte von $\frac{l}{r}$ folgende Verhältnisse von $\frac{v'}{r}$.

$\frac{l}{r}$	$\frac{v'}{r}$
10^2	1,035
10^3	1,023
10^4	1,017
10^5	1,014

Die Elektrizitätsgeschwindigkeit am Drahte würde demnach um 2 v. H. größer sein, als die Lichtgeschwindigkeit, was aber allen vorliegenden Erfahrungen widerspricht, da verschiedene Untersuchungen stets eine allerdings sehr geringe Verzögerung der Geschwindigkeit erweisen.

Die frühere Annahme für die Eichung der Multiplikationsstäbe, daß die Drahtgeschwindigkeit der Elektrizität gleich der Lichtgeschwindigkeit sei, erscheint durch die Kontrollmessungen von P. Drude, sowie von E. Gehrcke (s. S. 156), welche Abweichungen von im Mittel 6 v. H. erwiesen, nicht richtig und müssen daher die von Slaby früher verwendeten, im Freien ausgespannten Drähte einer äußeren Beeinflussung unterlegen gewesen sein. Es wurde demnach die Natur dieser Störungen durch einige Versuche zu ermitteln getrachtet, die für die Sender der Funkentelegraphie Bedeutung haben können.

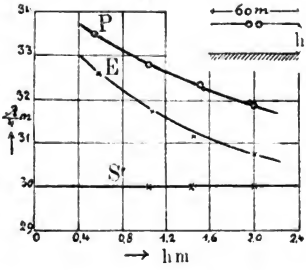
Ein einfach schwingender Draht kann beeinflußt werden:

1. durch Kapazitätsänderungen vom Boden oder von anderen Massen aus, welche Ladungen annehmen;
2. durch Induktionswirkungen benachbarter geradliniger Leiter;
3. durch Aenderung der Dielektrizitätskonstanten des Raumes.

Digitized by Google

1. Versuch Mit einem an einem Schleifendrahte geeichten Multiplikationsstabe für den Meßbereich $\frac{\lambda}{4} = 10$ bis 40 m wurden an einem 60 m langen, frei ausgespannten und in der Mitte durch eine Funkenstrecke erregten Sender die Wellenlängen gemessen und zwar bei verschiedenen Abständen vom Boden. Die nachfolgenden in der Fig. 25 gegebenen Kurven sind das Mittel der aus 10 Einstellungen erhaltenen Werte. Hierin bedeutet P die an einem, in einem Parke ausgespannt gewesenen Drahte, E die auf einem Uebungsplatze mit dem gleichen Drahte und S die an einem Schleifendrahte erhaltene Kurve. Diese Kurven stellen die Abhängigkeit der wahren Wellenlänge des Drahtes vom Bodenabstande h dar. Der Schleifendraht zeigte an beiden Orten in 1 und 1½ m vom Boden völlige Uebereinstimmung zwischen Draht und Wellenlänge. Beim einfachen Drahte ergaben sich jedoch Unterschiede bis zu 9,3 v. H. bei 1 m und bis zu 6,3 v. H. bei 1,5 m Bodenabstand.

Fig. 25.



Die Messungen zeigen hier, da eine induktive Beeinflussung ausgeschlossen war, daß der Erdboden auf die Kapazität des einfachen Schwingungsdrahtes einen Einfluß ausgeübt haben muß, welcher erst bei Abständen von mehr als 5 m verschwand. Diese Entfernung scheint offenbar von der Länge des Drahtes abzuhängen, denn im Versuchsraum mit Zinkboden ließ sich an 10 m langen Drähten bei einem Abstand von 1 bis 2 m vom Boden ein Einfluß des Bodens auf die Kapazität nicht mehr nachweisen.

Es veranlaßt sonach jede Kapazitätsbeeinflussung des einfachen Schwingungsdrahtes eine Vergrößerung der wahren Viertelwellenlänge gegenüber der Drahtlänge und bedingt mithin eine Verringerung der Elektrizitätsgeschwindigkeit am Drahte, gegenüber der Lichtgeschwindigkeit. Ein Schleifendraht ist dieser störenden Einwirkung nicht unterworfen.

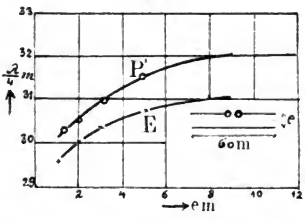
2. Versuch. Der induktive Einfluß benachbarter Leiter auf den Schwingungskreis wurde in folgender einfachen Weise festgestellt: An beiden Versuchsorten wurde bei gleichem Abstande von 1,5 m vom

Digitized by Google

Boden, ein zweiter 60 m langer Draht in veränderlicher Entfernung e, zum Schwingungsdrahte parallel geführt. Dem Bodenabstand entsprechend betrugen die wahren Viertelwellenlängen 32,25 m (Park) und 31,1 m (Uebungsplatz). Die mit P und E bezeichneten Linien (Fig. 26) erweisen, daß bis zur Entfernung von 10 m die induktive Beeinflussung die wahre Wellenlänge des Schwingungsdrahtes verkürzt und betrug diese Verkürzung bis zu 6,3 v. H. bei 1 m und bis zu 5,1 v. H. bei 2 m Drahtabstand.

Durch die induktive Beeinflussung wird sonach die wahre Wellenlänge des Schwingungsdrahtes verkürzt und die Elektrizitätsgeschwindigkeit am Drahte vergrößert. Der Einfluß war bei diesen Versuchen nur aus dem Grunde so groß, weil der Paralleldraht in Resonanz schwingen konnte, was für gewöhnlich nicht der Fall ist, so daß der Einfluß der induktiven Störung ein geringerer und von der Kapazitätswirkung überwogen wird, so daß in den meisten praktischen Fällen eine Verkleinerung der Elektrizitätsgeschwindigkeit, gegenüber der Lichtgeschwindigkeit anzunehmen ist und sohin die wahre Wellenlänge die Drahtlänge um einige Prozente übertrifft. Auch nach diesen Versuchen reicht der induktive Einfluß weiter als der der elektrischen Ladung (s. I. 5.).

Fig. 26.



3. Versuch. Schon frühere Versuche zeigten, daß eine Aenderung der Dielektrizitätskonstante des umgebenden Mediums einen deutlich nachweisbaren Einfluß auf die Kapazität hat. So trat an einem 1 mm dicken Kupferdrahte mit 0,5 mm dicker Kautschukisolation nach deren Entfernung eine Kapazitätsverminderung um 14 v. H. ein.

Bei dem neuen Versuche wurde ein 20 m langer, 1 mm dicker Kupferdraht mit 2 mm dicker Gummiisolation mit einem Grissonkondensator von 169 cm Kapazität verbunden und dessen Belegung auf Zinkboden geerdet. Es wurde nun die Kapazität des 1 m über dem Boden gespannten Drahtes gemessen, wobei dieser nach und nach um je 2 m verkürzt wurde. Nach Entfernung der Drahtisolation wurde die Messung wiederholt. Nach Fig. 27 lassen sich durch die Meßpunkte zwei Gerade legen, die bei 169 cm die Ordinatenachse schneiden. Der isolierte Draht ergab eine Kapazität von 7,05 cm, der nackte Draht

Digitized by Google

eine solche von 5,85 cm. Die Kapazität des isolierten Drahtes war demnach um 20,5 v. H. größer.

Auch eine Nebelumhüllung steigert die Kapazität des Drahtes. In einer Waschküche wurde nach dem gleichen Verfahren ein 10 m langer Draht von 0,8 mm Dicke mit einem Grissonkondensator verbunden und letzterer an einem Wasserrohr geerdet. Drei Versuchsreihen zeigten (Fig. 28) folgende Ergebnisse. Vorerst wurde die Kapazität in dem ungeänderten Raum nach jedesmaliger Abtrennung von 2 m gemessen. Die Aufnahmspunkte sind durch Kreuze bezeichnet. Es ergab sich hierbei C_f einschließlich Erde zu 101,5 cm und C_i für

Fig. 27.

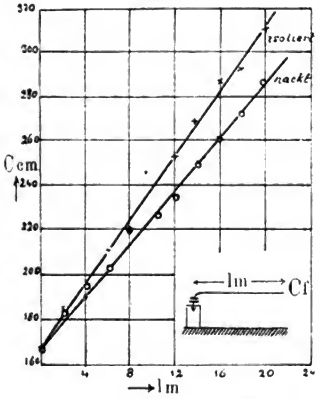
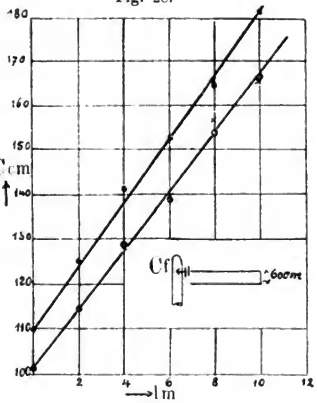


Fig. 28.



das Meter zu 6,6 cm. Hierauf wurde der mit Ziegelsteinen belegte Boden unter Wasser gesetzt und die Messung in gleicher Weise wiederholt. Das Ergebnis blieb das gleiche und sind die Aufnahmspunkte durch Kreise bezeichnet. Zum Schlusse wurde der ganze Raum mit dichtem Dampfe erfüllt. Die erneuten Messungen (Punkte) zeigten, daß die Drahtkapazität auf 7,9 cm für das Meter oder um 6,9 v. H. gestiegen war. Auch die Flaschenkapazität war und zwar um 9 v. H. vergrößert, was sich durch reichlichen Niederschlag von kondensiertem Wasser auf den äußeren Umhüllungen erklären ließ.

Das Ergebnis ist ausreichend, um den Einfluß des Wasserdampfes auf die Drahtkapazität außer allen Zweifel zu stellen. Die Ursache der Zunahme der Kapazität dürfte in diesem Falle weniger in der geringen

Digitized by Google

Zunahme der Dielektrizitätskonstanten des umgebenden Raumes zuzuschreiben gewesen sein, als der dünnen Flüssigkeitsschicht, welche sich auf dem Drahte niedergeschlagen hat. Bei der großen Dielektrizitätskonstante des Wassers ist, gegenüber den Versuchen mit der Gummiisolation, die starke Kapazitätszunahme trotz der dünnen Flüssigkeitsschicht leicht zu erklären.

Es muß demnach an ausgeführten Anlagen bei feuchter Witterung mittels des Multiplikationsstabes eine Aenderung der Wellenlänge wahrnehmbar sein.

Nach diesen Versuchen ergibt sich, daß die Eichung der Multiplikationsstäbe an einfachen ausgespannten Drähten mit Fehlern behaftet ist, wogegen sich die Drudesche Methode der Eichung an Doppeldrähten als einwandfrei erweist, und dadurch der Wert der Multiplikationsstäbe auch für wissenschaftliche Messungen erheblich an Bedeutung gewonnen hat. Gelingt es, die Stäbe vollkommen gleichmäßig zu wickeln, so wird die von Gehrcke mit 1 v. H. festgestellte Genauigkeit der Messung erheblich zunehmen und können dann diese Stäbe selbst als Eichnormale dienen, da sich bisher an den im Gebrauche befindlichen Stäben dieser Art eine Aenderung nicht wahrnehmen ließ.

Eine Störung der Messungen durch den Körper des Beobachters ist ausgeschlossen, wenn der Stab immer in gleicher Weise gehandhabt wird. Er wird bei elektrischer Erregung am besten mit der linken Hand etwa 45° gegen den Körper gehalten und der Gleitstab unter tunlichster Fernhaltung des Ellbogens mit der rechten Hand den Stab entlang geführt. Man hat sich hierbei in solcher Entfernung von dem Schwingungsleiter aufzustellen, daß das Sprühen der Stabspitze gerade noch deutlich zu erkennen ist, wodurch auch die von Gehrcke beobachtete Bräunung des Bariumplatinzyanurs kaum eintreten kann. Die elektrische Erregung des Stabes ist viel bequemer als die magnetische und zwar am besten in der Nähe eingeschalteter Flaschen, die aber mit der äußeren Belegung nicht geerdet sein dürfen. Ist eine Spannungsstelle des schwingenden Systems nicht zugänglich, so kann man den Stab auch, wie Drude gezeigt hat, induktiv oder magnetisch erregen. Der Stab ist dabei so zu halten, daß der Gleitdraht mit dem Schwingungsleiter in gleicher Höhe liegt. Hierbei kann man an den Schwingungsleiter viel näher herangehen, ja ihn sogar unmittelbar berühren, weil die Kapazitätsbelastung im Spannungsknoten des Multiplikationsstabes erfolgt, und daher auf die Resonanz nur einen verschwindenden Einfluß ausübt. (S. a. III. 2.) Um die Messungen bei hellem Tage ausführen zu können, wird (Fig. 29) über die Stabspitze

Digitized by Google

eine konische Röhre aus steifem schwarzem Papier gestülpt, die mit einer kreisrunden seitlichen Oeffnung zur Einführung des Stabes versehen ist. Das Ueberstülpen einer solchen Röhre ist ohne Einfluß auf das Meßergebnis und können dadurch Messungen selbst bei hellstem Sonnenschein vorgenommen werden. Es ist sogar an mit ganz geringer Energie erregten Demonstrationsapparaten eine Wellenmessung mit voller Genauigkeit möglich.

Der Einfluß der induktiven und Kapazitätsstörungen ist nun auch für die Vorausberechnung von Senderanlagen von Bedeutung. Die hochgeführten Drähte dieser Anlagen sind eigentlich niemals frei von induktiven oder Kapazitätsstörungen. Insbesondere bei Schiffsanlagen befinden sich die Maste, Drahtseile und Wanten im Bereiche der Sendedrähte und veranlassen Aenderungen der Elektrizitätsgeschwindigkeit an diesen, und stimmt daher die wahre Viertelwellenlänge eigentlich niemals mit der an der Schiffswand geerdeten Drahtlänge überein. Unter gewissen Umständen können sich diese Störungen ganz oder teilweise aufheben, da die induktiven Beeinflussungen auf Vergrößerung, die Kapazitätswirkungen aber auf Verminderung der Geschwindigkeit hinwirken. Es überwiegt jedoch zumeist der Einfluß auf die Kapazität.

Fig. 29.

Bei den zur Verminderung der Dämpfung mit Kapazitätskreisen gekoppelten Senderformen macht sich die Verschiedenheit der Geschwindigkeiten im eigentlichen Sendegebilde und im geschlossenen Schwingungskreis, bei welch letzterem immer die Lichtgeschwindigkeit angenommen werden darf, für die Rechnung in störender Weise geltend. Dieses Hindernis für die genaue Rechnung läßt sich jedoch durch ein einfaches Mittel beseitigen. In III. 2. wurde gezeigt, wie sich ein geradeliniger Schwingungsleiter von der Länge l_0, der einem Schwingungssysteme angehängt ist, durch eine statische Kapazität ersetzen läßt, deren Größe sich aus

$$C_{d'} = \frac{\operatorname{tg} x}{x} \cdot C_d$$

berechnen läßt und worin C_d die gemessene Drahtkapazität und

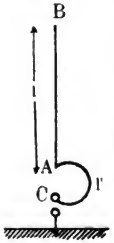
$$x = \frac{2\pi l_0}{\lambda}$$

bedeutet. Diese Beziehung gilt nur unter der Annahme, daß die Elektrizitätsgeschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit gleich ist. Man

Digitized by Google

kann nun diese Formel umgekehrt dazu benützen, um eine Drahtlänge l, an welcher die Elektrizitätsgeschwindigkeit einen anderen Wert hat, durch eine ideelle Drahtlänge l_0 zu ersetzen, für welche die Lichtgeschwindigkeit gilt. Diese Ersatzlänge läßt sich durch einen leicht anzustellenden Versuch ermitteln. Es sei $AB = l$ (Fig. 30) die durch äußere Einflüsse gestörte Drahtlänge. Verbindet man mit A eine beliebige Drahtschleife l' und erregt man den Gesamtdraht durch eine geerdete Funkenstrecke bei C und mißt nun die Wellenlänge mit dem Multiplikationsstabe, am besten induktiv in der Weise, daß man ihn in die Schleife AlC steckt, so daß der Gleitdraht in die Schleifenebene fällt, und bezeichnet man den noch unbekannten Selbstinduktionskoeffizienten der Schleife mit L', so ist

Fig. 30.



$$\lambda = 2\pi \sqrt{L' C_{d'}},$$

worin $C_{d'}$ die gesuchte Ersatzkapazität des Drahtes ist. Der Koeffizient L' wird bestimmt, indem man den Draht l bei A löst, zwischen A und C drei bis vier bekannte Flaschenkapazitäten schaltet und die entsprechenden Wellenlängen mißt. Aus diesen Messungen läßt sich L' mit großer Genauigkeit ableiten. Setzt man den aus obiger Gleichung berechneten Wert

$$C_{d'} = \frac{\operatorname{tg} \cdot \frac{2\pi l_0}{\lambda}}{\frac{2\pi l_0}{\lambda}} \cdot C_d$$

und bestimmt C_d durch unmittelbare Kapazitätsmessung, so findet sich hieraus die Ersatzlänge l_0, für welche die Lichtgeschwindigkeit gilt. Die Rechnung vollzieht sich am besten und schnellsten unter Benützung einer Kurventafel $y = \frac{\operatorname{tg} x}{x}$.

Das gleiche Verfahren läßt sich nun auch bei zusammengesetzten Sendegebilden, wie Harfen, Fächern und anderen mehrfachen, auch mit Flächenkapazitäten belasteten Sendern durchführen. Man kann diese zum Zwecke der Berechnung auch durch eine einfache ideelle Drahtlänge ersetzen, an welcher Lichtgeschwindigkeit herrscht. Die praktische Anwendung des Verfahrens soll an einigen Zahlenbeispielen erläutert werden.

1. Ein Hochspannungskabel mit 1 mm dicker Kupferseele mit 2 mm dicker Gummiisolation, $1\frac{1}{2}$ m unter der Decke an Porzellan-

Digitized by Google

isolatoren aufgehängt, ergab, als einfacher Marconisender erregt, mit dem Multiplikationsstabe gemessen, eine von der Kabellänge ($l = 57$ m) um 7 v. H. abweichende räumliche Wellenlänge

$$\frac{\lambda_0}{4} = 61 \text{ m}.$$

Die mit Telephonbrücke gemessene Kapazität des Kabels betrug 454 cm oder im Mittel 8 cm für das Meter. Als Erde diente ein Zinkboden. Wurde das von der Isolation entkleidete Ende des Kabels in einer Länge von 140 cm zu einer Schlinge gebogen, so wurde die Wellenlänge $\frac{\lambda}{4} = 60{,}4$ m, weil die Selbstinduktion der Schleife etwas geringer ist als die des gestreckten Drahtes. Zur Bestimmung des Selbstinduktionskoeffizienten der Schlinge wurde sie vom Kabel abgeschnitten und mit Kondensatoren von 3000 bis 11000 cm Kapazität im geschlossenen Kreise ohne Aenderung der Lage in Form der Schlinge erregt. Die gemessenen Werte der Wellenlänge wurden als Funktion von $\sqrt{C_l}$ aufgetragen und aus einer durch den Anfangspunkt gezogenen Geraden, welche etwaige Meßfehler der Kapazität ausgleicht, die richtigen Werte entnommen.

Es ergab sich

$$L' = 1390 \text{ cm}.$$

Aus

$$\frac{\lambda_0}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{C_{d'} L'} = 60{,}4$$

folgt

$$C_{d'} = 10\,650 \text{ cm},$$

als Ersatzkapazität der Kabellänge von $57 - 1{,}4 = 55{,}6$ m. Dieser entspricht eine statische Kapazität von $C_d = 444$ cm. Mithin ist

$$\frac{C_{d'}}{C_d} = \frac{\operatorname{tg} x_0}{x_0} = 24.$$

Die Kurventafel lieferte

$$x_0 = 1{,}544$$

und aus

$$x_0 = \frac{2\pi l_0}{\lambda_0}$$

folgt

$$l_0 = 59{,}4 \text{ m},$$

d. h. eine ideelle Drahtlänge, welche gleichfalls um 7 v. H. größer ist als die angehängte Kabellänge von 55,6 m. Es läßt sich demnach

Digitized by Google

die Ersatzlänge eines Sendeleiters, welcher an einen geschlossenen Erregerkreis angehängt ist, mit ausreichender Genauigkeit auch dadurch ermitteln, daß man den angehängten Leiter unmittelbar als Marconisender erregt und seine wahre Wellenlänge durch Messung ermittelt. Die zweite Methode ist jedoch vorzuziehen, da die Wellenmessung mit induktiver Erregung des Multiplikationsstabes vorgenommen werden muß und die Einführung des Stabes in eine Schleife hierbei besonders sichere Messungen ermöglicht. Es folgt hieraus, daß die Elektrizitätsgeschwindigkeit an dem erwähnten Hochspannungskabel um 7 v. H. geringer war, wie die Lichtgeschwindigkeit.

2. Eine Harfe (Fig. 31) von 10 m Länge mit 10 Drähten von 0,8 mm Dicke im Abstande von 10 cm wurde 1 m über dem Zinkboden gespannt und durch eine an einem breiten Zinkzylinder auf den

Fig. 31.

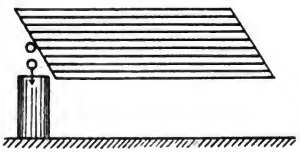
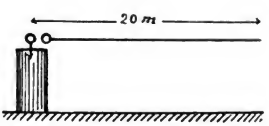


Fig. 32.



Zinkboden geerdete Funkenstrecke erregt und nahm hierbei eine Schwingung von einer räumlichen Viertelwellenlänge $\frac{\lambda}{4} = 13{,}4$ m an. Es ist sonach die Elektrizitätsgeschwindigkeit an einer solchen Harfe um 34 v. H. kleiner als die Lichtgeschwindigkeit.

3. Ein 20 m langer einfacher Draht von 0,8 mm Dicke (Fig. 32) zeigt dagegen unter den gleichen Umständen am Multiplikationsstabe eine räumliche Viertelwelle von 20 m.

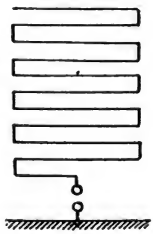
4. Ein 12 m langer, nicht geerdeter Draht, in der Mitte durch eine Funkenstrecke erregt, zeigt genau 6 m als räumliche Viertelwellenlänge. Elektrizitätsgeschwindigkeit und Lichtgeschwindigkeit stimmen sonach bei 1 m über dem Zinkboden überein, die induktiven und Kapazitätsstörungen gleichen sich daher aus. Dieser Versuch wurde bereits früher unternommen (I. 3.). Die dortselbst angegebene Wellenlänge wurde mit einem Multiplikationsstabe früherer Eichung, die um 6 v. H. kleinere Werte ergibt, gemessen. Die angestellte Rechnung, welche damals mit der Messung übereinstimmte, kann also nicht richtig sein und ist daher der Ersatz der induktiven Wirkung des Zinkbodens, durch jene eines Paralleldrahtes, wie dort angenommen

Digitized by Google

wurde, nicht zulässig. Zutreffendere Werte wären erhalten worden, wenn die Eichdrähte statt im Freien über dem Zinkboden ausgespannt worden wären.

5. Ein im Zickzack geführter Draht (Fig. 33) von 95 m Länge zeigte bei Erregung durch eine geerdete Funkenstrecke, am Multiplikationsstabe eine räumliche Viertelwellenlänge von nur 17 m. Würde angenommen, daß die elektrische Welle ausschließlich am Drahte fortschreitet, so wäre die Elektrizitätsgeschwindigkeit nahezu 5,5mal größer als die Lichtgeschwindigkeit. Es ist jedoch eher anzunehmen, daß die Welle zwischen den Paralleldrähten fortschreitet. Für jeden Fall läßt sich durch die Zickzackführung eines Drahtes sowohl seine Kapazität wie auch seine Selbstinduktion in weitgehendem Maße verringern.

Fig. 33.



Bei allen diesen Messungen wurden nach dem Drudeschen Verfahren geeichte Multiplikationsstäbe benützt. Bei den früheren Messungen, für welche an geraden Drähten geeichte Stäbe verwendet wurden, sind die Werte durchschnittlich um 6 v. H. zu vergrößern. Bei vergleichenden Untersuchungen wird die Richtigkeit der Ergebnisse davon nicht beeinträchtigt.

III. 4. Indirekt erregte Sender mit verminderter Dämpfung. Bei dem in II. 2. behandelten indirekt erregten Kondensatorsender wird die Dämpfung gleichfalls vermindert, wenn man den Strom in der Funkenstrecke verstärkt und kann der zur indirekten Sendererregung benützte Kondensator durch Erdung von dessen oberem Belage zur Ausbildung des Zusatzstromes herangezogen werden (Fig. 34).

Diese Schaltung stimmt mit der Abbildung (Fig. 35), die den folgenden Betrachtungen zu Grunde gelegt wird, überein. Diese zeigt gegenüber dem direkt erregten Sender (Fig. 36) nur eine andere Lage der Funkenstrecke.

Legt man in beide Erdverbindungen (Fig. 37) je eine Funkenstrecke f_a und f_i ein, läßt aber abwechselnd nur eine wirken, indem man die andere während dieser Zeit kurz schließt, so ergeben die Messungen für beide Fälle gleiche Wellenlängen, was auch leicht erklärlich ist, da die Funkenstrecke während der Schwingungen eine leitende Verbindung herstellt und den Kondensatorkreis schließt.

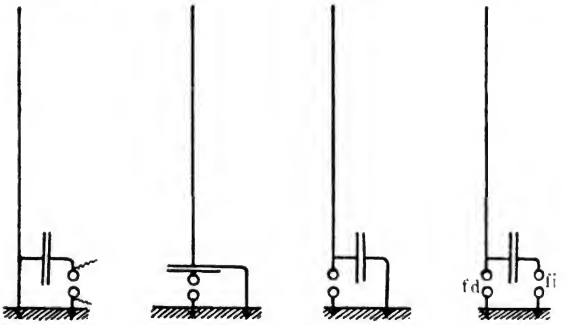
Es zeigt sich jedoch bei beiden Erregungsarten ein bemerkenswerter Unterschied bezüglich der Energieaufnahme. In Fig. 35 ladet die mit den Funkenkugeln verbundene Hochspannungsquelle nur den

Digitized by Google

Kondensator. In der Fig. 36 wird aber auch die Kapazität des Luftdrahtes geladen und bedingt dies einen erheblichen Unterschied in den Fernwirkungen.

Es läßt sich nun aus dem Unterschiede der Energieaufnahme bei beiden Erregungsarten auch die Ladungsenergie eines Sendegebildes

Fig. 34. Fig. 35. Fig. 36. Fig. 37.



ableiten. Um dies durchzuführen, wurden (Fig. 38) zwei Harfen mit je vier Paralleldrähten in 0,5 m Abstand und von je 8 m Länge zu einem Hertzschen Sender mit gekoppeltem Kapazitätskreis angeordnet. Dieser Kreis bestand aus zwei gleichen Kondensatoren C_f und einer veränderlichen Drahtlänge u. Die beiden unter sich ganz gleichen

Fig. 38.

Funkenstrecken f_i und f_d wurden unter Kurzschluß des nicht verwendeten, abwechselnd mit dem gleichen Transformator verbunden und die primäre Energieaufnahme jedesmal mit einem Wattmeter gemessen.

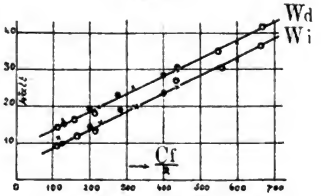
Die für verschiedene Kapazitäten $\frac{C_f}{2}$ gemessenen Werte erscheinen in Fig. 39 sowohl für die direkte als auch indirekte Erregung aufgetragen und zeigt sich aus den beiden Linien ein gleichbleibender

Digitized by Google

Unterschied von 5 Watt zwischen der direkten und indirekten Erregung, welcher der Ladungsenergie der Harfe entspricht.

Die Kapazität der beiden Harfen gegeneinander wurde unter Annahme eines Entelektrisierungsfaktors $\alpha = 0{,}75$ mit 83 cm berechnet.

Fig. 39.



Die Funkenkugeln hatten 1 cm Durchmesser und der Abstand betrug gleichfalls 1 cm, so daß nach Heydweiller[1]) das Entladungspotentiale 27000 Volt beträgt. Die Ladezeit τ für beispielsweise $\frac{C_f}{2} = 500$ ermittelt sich aus

$$\frac{27000^2 \,.\, 500}{2 \,.\, 9 \,.\, 10^{11}} = 28\ \tau,$$

sohin beträgt $\tau = 7{,}23 \times 10^{-3}$ Sek.

Der verwendete Turbinenunterbrecher mit drei Segmenten machte 22 Umdrehungen in der Sekunde, es betrug also die Zeit zwischen zwei einander folgenden Unterbrechungen $\frac{1}{66} = 15 \,.\, 10^{-3}$ Sek. Der Turbinenunterbrecher hätte die verlangte Endspannung sonach auch mit 6 Segmenten ergeben.

Die Beobachtung bei den verschiedenen Versuchen ergab ferner, daß jeder Unterbrechung des Primärstromes nur eine Ladung des Schwingungssystemes entsprach, sonach zwischen Lade- und Unterbrechungsfrequenz vollkommene Gleichheit herrschte.

Es wurde (II. 2.) bereits darauf hingewiesen, daß bei allen zur Dämpfungsverminderung mit einem Kapazitätskreise gekoppelten Sendern außer der berechneten Welle λ_1 noch eine zweite kleinere λ_2 auftritt, welche bei der indirekten Erregung (Fig. 35) stärker in Erscheinung tritt, als bei der direkten Erregung (Fig. 36). Diese praktisch wichtige Frage wird für beide Erregungsarten gemeinschaftlich, und

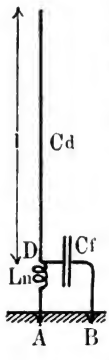
[1]) Ann. d. Ph. Bd. 48, S. 235.

Digitized by Google

zwar zunächst nur in Bezug auf die Berechnung der Wellenlängen behandelt.

A D B (Fig. 40) sei ein geschlossener geerdeter Kreis mit der Selbstinduktion A D $= L_n$ und der beliebigen Kapazität C_f, deren Erdverbindung vorläufig als induktionslos vorausgesetzt wird. An D ist ein geradliniger Draht von der Länge l und der statischen Kapazität C_d angeschlossen, längs welchem die Elektrizitätsgeschwindigkeit mit der Lichtgeschwindigkeit übereinstimmen soll. Zahlreiche Versuche haben nun erwiesen, daß ein solches System genau so schwingt, als ob der geschlossene Kreis bei D mit einer zusätzlichen Kapazität belastet sei.

Fig. 40.



Diese Belastung besteht aus einer Drahtkapazität, die nach III. 2. für die Schwingung von der Wellenlänge λ_1 durch eine ideelle Kapazität von der Größe

$$C_{d'} = \frac{\operatorname{tg} . x_1}{x_1} . C_d$$

ersetzt werden kann und worin

$$x_1 = \frac{2\pi l}{\lambda_1}.$$

Die Wellenlänge der Schwingung ist sonach

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1 &= 2\pi \sqrt{L_n (C_f + C_{d'})} \\ \lambda_1 &= 2\pi \sqrt{L_n \left(C_f + \frac{\operatorname{tg} x_1}{x_1} . C_d \right)} \end{aligned}\right| \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Diese transzendente Gleichung löst sich am besten durch ein Näherungsverfahren unter Zuhilfenahme der Kurve $y = \frac{\operatorname{tg} x}{x}$. C_f, C_d und L_n sind als bekannt vorausgesetzt. C_f und C_d werden am besten mit der Telephonbrücke gemessen und L_n auf mittelbarem Wege bestimmt, indem man den Sendedraht bei D löst und die Wellenlänge λ_k des geschlossenen Kreises unter Einschaltung verschiedener bekannter Flaschenkapazitäten C_f mißt. L_n folgt sodann aus der Beziehung

$$\lambda_k = 2\pi \sqrt{L_n . C_f}.$$

Zum Ausgleiche etwaiger Meßfehler trägt man λ_k als $f(\sqrt{C_f})$ auf und zieht durch den Anfangspunkt eine die meisten Meßpunkte aufnehmende Gerade.

Digitized by Google

Man nimmt sodann zwei Tastwerte von λ_1 und zwar $\lambda_1' < \lambda_1 < \lambda_1''$, berechnet x_1' und x_1'' und greift aus der Kurventafel die zugehörigen Werte $\frac{\operatorname{tg} x_1'}{x_1'}$ und $\frac{\operatorname{tg} x_1''}{x_1''}$ heraus. Die sodann nach Gl. (1) berechneten Wellenlängen werden als Ordinaten, die Tastwerte als Abszissen aufgetragen und liefern zwei Punkte, die sich beliebig nahe einander halten lassen und deren Verbindung sich mit einer unter 45° durch den Anfangspunkt gezogenen Geraden im wahren Werte von λ_1 schneidet.

Ist die Lichtgeschwindigkeit im Sendedraht nicht vorauszusetzen, so bestimmt man die ideelle Ersatzlänge l_0 nach dem in 3. gegebenen Verfahren.

Der gekoppelte Sender hat wie jedes schwingende System eine Reihe von Oberschwingungen. Die Stärke der Obertöne kommt aber bei dem einfachen Marconisender gegenüber der kräftigen Grundschwingung überhaupt nicht in Betracht. Bei dem gekoppelten Sender hingegen kann unter gewissen Umständen die Oberwelle die Grundwelle an Fernwirkung übertreffen.

Zur Berechnung der Oberwelle wird die allgemein abgeleitete Gleichung

$$\lambda = 2\pi \sqrt{L_a \left(C_f + \frac{\operatorname{tg} x}{x} C_d \right)},$$

worin $x = \frac{2\pi l}{\lambda}$ herangezogen.

Der Winkel x kann in verschiedenen Quadranten liegen und ergibt sich hieraus eine Reihe von Werten für λ, die alle der Gleichung Genüge leisten. Die vorher berechnete Welle λ_1 entspricht dem ersten, die Oberwelle λ_2 dem zweiten Quadranten. Diese allgemeine mathematische Auslegung der Gleichung führt aber zu falschen Ergebnissen, da die physikalischen Bedingungen für die Grundwelle andere sind, als für die Oberwelle. Bei der ersten schwingt das geerdete System in einer Viertelwelle, bei der letzteren hingegen in drei Viertelwellen, bezw. bei einem nicht geerdeten Systeme in einer halben Welle. Dies bedingt einen bemerkenswerten Unterschied in der Größe der Drahtkapazität. Geht man von der Erfahrungstatsache aus, daß ein geerdeter Draht A B (Fig. 41) von der Länge l in der Grundwelle $\frac{\lambda_1}{4} = l$ und in der ersten Oberwelle $\frac{\lambda_2}{4} = \frac{l}{3}$ schwingt, so läßt sich die Grundwelle nach dem in I. 2. angegebenen Verfahren berechnen. Bezeichnet C_d die statische

Digitized by Google

Kapazität des Drahtes l, so ist für die Schwingungen die auf die Spitze bezogene Kapazität

$$C_{d'} = \frac{2}{\pi} C_d = \frac{2}{\pi} \frac{l}{2 \ln \frac{l}{r}} = \frac{2}{\pi} l c$$

zu rechnen, worin

$$c = \frac{1}{2 \ln \frac{l}{r}}$$

die Kapazität für die Längeneinheit bezeichnet. Der Selbstinduktionskoeffizient für den Schwingungsstrom ist

$$L' = \frac{2}{\pi} \cdot 2l \cdot \ln \frac{l}{r}.$$

Fig. 41.

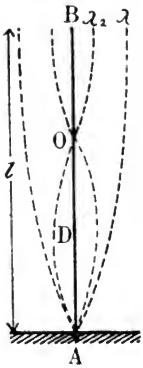
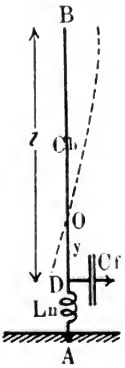


Fig. 42.



Es läßt sich nun, da der Draht im Knotenpunkt der Spannung geerdet ist, die Schwingung als die eines geschlossenen Kreises mit dem Selbstinduktionskoeffizienten L' und der eingeschalteten Kapazität $C_{d'}$ auffassen. Man erhält dann in Uebereinstimmung mit der Erfahrung aus der Thomsonschen Gleichung

$$\frac{\lambda_1}{4} = 2\pi \sqrt{L' C_{d'}} = l.$$

Es ist bei dieser Schwingung gegen Erde jede Längeneinheit des Drahtes mit ihrer vollen Kapazität c beteiligt.

Digitized by Google

Bei der Oberschwingung nimmt der Draht $D\,O\,B = \frac{2}{3}\,l$ eine halbe Wellenlänge auf. Der Selbstinduktionskoeffizient der Schwingungsbahn ist

$$L = \frac{2}{\pi} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3}\,l \cdot \ln \frac{l}{r}.$$

Ist die zu berechnende Kapazität $C_{d''}$, so wird

$$\frac{\lambda_2}{4} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{8}{3\pi}\,l \cdot \ln \frac{l}{r} \cdot C_{d''}} = \frac{l}{3},$$

hieraus folgt

$$C_{d''} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{l}{3} \cdot \frac{1}{4 \ln \frac{l}{r}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{l}{3} \cdot \frac{c}{2},$$

d. h. die Drahtkapazität ist bei dieser Schwingung pro Längeneinheit der Viertelwelle nur mit dem halben Wert beteiligt. Dieser Unterschied, auf welchen bereits Poincarré[1]) aufmerksam gemacht hat, läßt sich auch so deuten, daß bei den Schwingungen eines Drahtes in der halben Welle, die Kapazitäten der beiden Drahthälften durch den Luftraum hintereinander geschaltet sind.

Es sei nun der Kondensator (Fig. 42) unmittelbar, d. h. ohne jede Drahtverbindung geerdet. Die Oberwelle hat auf dem Sendeleiter l bei O einen Knotenpunkt: O B schwingt in einer Viertelwelle und die verbleibende Länge O D nimmt mit L_n und C_f eine halbe Wellenlänge auf.

L_n schwingt mit einem Teile der Kapazität C_f belastet, die mit $C_{f''}$ bezeichnet werden soll, in einer Viertelwelle, für welche unter Vernachlässigung der geringen Kapazität von L_n die Beziehung gilt:

$$\lambda_2 = 2\pi \sqrt{L_n\, C_{f''}}.$$

In der gleichen Viertelwellenlänge schwingt der Leiter $D\,O = y$, welcher gleichfalls mit einem Teil, $C_{f''}$, der Kapazität von C_f belastet ist. Diese Kapazität berechnet sich nach I. 7. aus:

$$\frac{c_1\, y}{C_{f''}} = \frac{2\pi y}{\lambda_2}\ \mathrm{tg}\ \frac{2\pi y}{\lambda_2},$$

worin c_1 die Drahtkapazität der Längeneinheit bedeutet. Nun ist

$$y = l - \frac{\lambda_2}{4}$$

[1]) Poincarré, Elektrizität und Optik Bd. 2. S. 125.

Digitized by Google

und

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi y}{\lambda_2} = \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda_2} - \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{1}{\operatorname{tg} \cdot \frac{2\pi l}{\lambda_2}}.$$

mithin wird durch Multiplikation der obigen Gleichung mit $\frac{l}{y}$

$$\frac{c_1 l}{C_{f''}} = -\frac{2\pi l}{\lambda_2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{2\pi l}{\lambda_2}}$$

oder

$$C_{f''} = -\frac{\operatorname{tg} \frac{2\pi l}{\lambda_2}}{\frac{2\pi l}{\lambda_2}} \cdot c_1 l.$$

c_1 ist nun nach dem Vorhergehenden, da der Sendedraht mit $C_{f''}$ in einer halben Wellenlänge schwingt, gleich $\frac{c}{2}$ und $c_1 l = \frac{C_d}{2}$. E wird daher

$$C_{f''} = -\frac{\operatorname{tg} x_2}{x_2} \cdot \frac{C_d}{2},$$

worin

$$x_2 = \frac{2\pi l}{\lambda_2}.$$

C_f mehr $C_{f''}$ müssen der gesamten Kondensatorkapazität gleich sein

$$C_f + C_{f''} = C_f$$

oder

$$C_f = C_f + \frac{\operatorname{tg} x_2}{x_2} \cdot \frac{C_d}{2}$$

und geht die Gleichung über in:

$$\lambda_2 = 2\pi \sqrt{L_n \left(C_f + \frac{\operatorname{tg} x_2}{x_2} \cdot \frac{C_d}{2}\right)}, \quad \ldots \quad (2)$$

$$x_2 = \frac{2\pi l}{\lambda_2}.$$

Man erhält sonach zur Berechnung der Oberwelle eine Gleichung wie unter (1) nur mit dem Unterschiede, daß die Drahtkapazität mit dem halben Werte einsetzt und der Winkel x_2 im zweiten Quadranten zu suchen ist; da $l > \frac{\lambda_2}{4}$ wird $\frac{\operatorname{tg} x_2}{x_2}$ immer negativ.

Digitized by Google

Zur Prüfung dieser Theorie wurden an dem unter Beispiel 1 erwähnten Hochspannungskabel Messungen vorgenommen. Dieses Kabel wurde, wie Fig. 43 zeigt, mit einem Kapazitätskreise gekoppelt, dessen Kondensator ohne jede Drahtverbindung auf Zinkboden geerdet war. Es kamen ausschließlich Grissonkondensatoren zur Verwendung, deren Reduktionsfaktor durch besondere Versuche (s. II. 1.) abgeleitet wurde. Die Messungsergebnisse stimmten mit der Rechnung, wie sich aus den vorgeführten Tabellen ergibt, nahezu vollkommen überein, indem die Abweichungen der Messung im Mittel unter 1 v. H. blieben. Die Rechnung erfolgte unter der Annahme, daß eine etwaige Selbstinduktion in dem unmittelbaren Erdungsdrahte des Kondensators vernachlässigt werden kann, was auch bei der vorerwähnten Schaltung mit Sicherheit anzunehmen war. Es läßt sich jedoch der Regulierung wegen eine kleine Selbstinduktion L_e in diesem Teile des Kondensatorkreises (Fig. 44) nicht immer vermeiden. Der Einfluß dieser Selbstinduktion ist ein wesentlicher und wird hierdurch nicht nur die Wellenlänge, sondern auch die Fernwirkung des Senders beeinflußt.

Fig. 43.

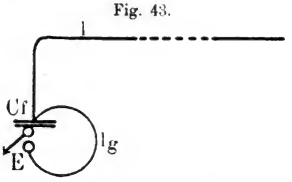


Fig. 44.

Die Wellenlängen sind hier zwar ebenfalls von der Lage der Funkenstrecke unabhängig und besteht sohin in dieser Beziehung kein Unterschied zwischen der direkten und indirekten Erregung, doch muß hier die Rechnung einen anderen Weg einschlagen.

Hat die Selbstinduktion L_e einen meßbaren Wert, so ist der in III. 2. gegebene Ansatz

$$\lambda_1 = 2\pi \sqrt{(L_n + L_e)(C_f + C_{a'})}$$

wie Versuche zeigten, unrichtig und stimmt nur für den Sonderfall $L_e = 0$.

Ein solches Schwingungssystem läßt sich wie in Fig. 45 darstellen. Die Selbstinduktion L_e ist mit C_f in Reihe, dagegen sind $C_{a'}$ und L_n anschließend parallel geschaltet und bei A wieder geerdet. Die Verbindungslinien sind in diesem Schema als induktions- und kapazitätslos zu betrachten.

Die Verzweigung A B läßt sich durch eine noch unbekannte

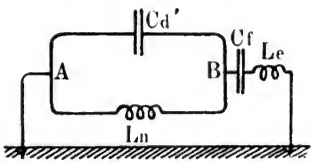
Digitized by Google

Selbstinduktion L_s ersetzen, welche mit C_f und L_e in Reihenschaltung die richtige Periodenzeit liefert

$$T = 2\pi \sqrt{(L_e + L_z)\, C_f}.$$

L_s läßt sich nach folgender Ueberlegung berechnen: Bezeichnet E_z den Effektivwert des Potentialunterschiedes zwischen A B und

Fig. 45.



J den Effektivwert des in die Verzweigung eintretenden Stromes, so ist ωL_z der scheinbare Widerstand der Verzweigung und

$$E_z = \omega L_z \,.\, J.$$

Anderseits ist der scheinbare Widerstand des Kondensatorzweiges gleich $\frac{1}{\omega C_{d'}}$ und

$$E_z = \frac{1}{\omega C_{d'}} \,.\, J_2,$$

wenn J_2 der Effektivwert des Ladestromes ist. Ebenso wird

$$E_z = \omega L_n J_1,$$

wenn J_1 den Effektivwert des Teilstromes durch L_n bezeichnet. Es folgt

$$\frac{J_2}{J_1} = \omega^2 C_{d'} L_n.$$

J_1 hat gegen E_z eine Phasenverschiebung $-\frac{\pi}{2}$, J_2 dagegen eine solche von $+\frac{\pi}{2}$. Die Phasenverschiebung der Ströme J_1 und J_2 ist sonach π und folgt, daß

$$J = J_1 - J_2,$$

$$J = \left(1 - \frac{J_2}{J_1}\right) J_1 = (1 - \omega^2 C_{d'} L_n)\, J_1,$$

anderseits ist

$$J = \frac{E_z}{\omega L_z} = (1 - \omega^2 C_{d'} L_n) \frac{E_z}{\omega L_n}$$

Digitized by Google

und folgt somit

$$L_e = \frac{L_n}{1 - \omega^2 C_{d'} L_n}$$

und

$$T = 2\pi \sqrt{\left(L_e + \frac{L_n}{1 - \omega^2 C_{d'} L_n}\right) C_f}.$$

Diese Gleichung muß, wenn richtig, für den Sonderfall $L_e = 0$ auf die Gl. (1) führen. Es ist dann

$$\frac{T}{2\pi} = \frac{1}{\omega} = \sqrt{\frac{L_n C_f}{1 - \omega^2 C_{d'} L_n}},$$

$$\omega^2 = \frac{1 - \omega^2 C_{d'} L_n}{L_n C_f},$$

$$\omega^2 L_n (C_f + C_{d'}) = 1,$$

$$\frac{1}{\omega} = \sqrt{L_n (C_f + C_{d'})} = \frac{T}{2\pi}$$

oder

$$T = 2\pi \sqrt{L_n (C_f + C_{d'})},$$

wenn die Kapazitäten in elektromagnetischen Einheiten oder

$$\lambda = 2\pi \sqrt{L_n (C_f + C_{d'})}$$

in Uebereinstimmung mit Gl. (1), wenn sie in elektrostatischen Einheiten genommen werden.

Die Gleichung läßt sich durch ein Näherungsverfahren unter Benutzung von Kurventafel und Rechenstab schnell lösen. Setzt man

$$1 - \omega^2 C_{d'} L_n = 1 - \frac{4\pi^2}{T^2 r^2} \cdot \frac{\operatorname{tg} \frac{2\pi l_0}{\lambda}}{\frac{2\pi l_0}{\lambda}} \cdot r^2 C_d L_n,$$

so ist $T^2 r^2 = \lambda^2$ und $r^2 C_d$ die zu messende Kapazität des Sendegebildes in elektrostatischen Einheiten. Der Ausdruck geht über in

$$1 - x \operatorname{tg} x \frac{C_d L_n}{{l_0}^2},$$

worin

$$x = \frac{2\pi l_0}{\lambda}$$

und es wird, wenn man C_f auch in elektrostatischen Einheiten rechnet

Digitized by Google

$$\lambda_1 = 2\pi \sqrt{\left(L_e + \frac{L_a}{1 - x_1 \operatorname{tg} x_1 \frac{C_d L_a}{l_0^2}}\right) C_f} \quad . \quad (3)$$

$$x_1 = \frac{2\pi l_a}{\lambda_1}.$$

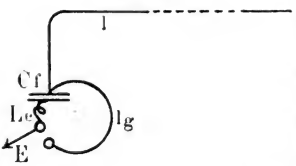
Die erste Oberwelle wird erhalten, wenn x im zweiten Quadranten gewählt und für C_d der halbe Wert gesetzt wird

$$\lambda_2 = 2\pi \sqrt{\left(L_e + \frac{L_a}{1 - x_2 \operatorname{tg} x_2 \frac{C_d L_a}{2 l_0^2}}\right) C_f} \quad . \quad (4)$$

$$x_2 = \frac{2\pi l_a}{\lambda_2}.$$

Zum Zwecke der Prüfung der abgeleiteten Formel wurde das schon erwähnte Hochspannungskabel unter Einschaltung einer Selbstinduktion $L_e = 5230$ cm bezw. 2070 cm zwischen Kondensator und Erde (Fig. 46) erregt.

Fig. 46.



Auch hier betrugen die Unterschiede zwischen den gemessenen und den berechneten Wellenlängen niemals mehr als 2 v. H. und im Mittel weniger als 1 v. H. und erscheint sonach die Frage der genauen Berechnung von zwei Wellen eines gekoppelten Senders gelöst.

III. 5. Die Fernwirkung gekoppelter Sender. Zur Erzielung einer guten Fernwirkung galt bisher als bestes Mittel die Resonanz zwischen dem gekoppelten Kreise und dem angehängten Drahtgebilde und wurde zu diesem Zwecke das Sendegebilde vorerst für sich allein mit einer unmittelbar geerdeten Funkenstrecke erregt und die entstehende Wellenlänge gemessen. Sodann wurde ein Flaschenkreis, dessen Kapazität die Kapazität des Sendegebildes um ein Vielfaches überstieg, auf die gleiche Wellenlänge abgestimmt und nun die beiden Systeme mit einer geringen gemeinschaftlichen Selbstinduktion gekoppelt. Es wurde hierbei die Größe der Flaschenkapazität und der gemeinschaftlichen Selbstinduktion nicht theoretisch ermittelt, sondern entweder der Erfahrung entsprechend gewählt oder es wurde auf eine maximale Stromaufnahme des Senders hinzuwirken gesucht, oder auch durch Beobachtung der Wirkung am Empfänger geregelt.

Digitized by Google

Das gekoppelte System wurde hierbei, um die langsam schwingende Transformatorspannung vom Sendegebilde fernzuhalten, fast ausnahmslos indirekt erregt. Bei dieser Art der Kopplung müssen zwei Wellen verschiedener Frequenz entstehen und erfolgt die Abstimmung des Empfängers nur auf eine Welle und zwar zumeist auf die kürzere (siehe die F. d. T. III, S. 133).

Die Funkendämpfung wird hierbei umso geringer werden, je mehr beide Wellen aneinander rücken und wäre der theoretisch günstigste Fall die völlige Uebereinstimmung ihrer Frequenzen, was aber praktisch unausführbar ist, weil dabei die Kopplung im theoretischen Knotenpunkte erfolgen müßte. Man nähert sich jedoch diesem Fall, wenn man die Koppelung in der Funkenstrecke bewirken würde. Wenn die Dämpfung von der gemeinschaftlichen Selbstinduktion unabhängig wäre, würde diese Art der Kopplung die beste praktische Lösung darstellen. Es gehört nun, wie noch gezeigt wird, zu jedem Sender ein bestimmter Wert an gemeinschaftlicher Selbstinduktion, für welchen die Fernwirkung ein Maximum wird und ist daher bei jeder Kopplung mit einem solchen Wert zu rechnen.

Die Versuche haben nun in Uebereinstimmung ergeben, daß in diesem Falle die beiden Wellen erheblich auseinander rücken. Die Dämpfung in der Funkenstrecke wird nun unter diesen Umständen dann am günstigsten ausfallen, wenn der Unterschied der Wellenlängen am kleinsten ist. Läßt man die Frage der günstigsten gemeinschaftlichen Selbstinduktion einstweilen unerörtert, so sind bei einem beliebigen Werte L_n die beiden Wellen nach den Gleichungen zu berechnen.

$$\lambda_1 = 2\pi \sqrt{L_n (C_f + C_{d'})} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$\lambda_2 = 2\pi \sqrt{L_n (C_f - C_{d''})} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

worin $C_{d'}$ und $C_{d''}$ die Ersatzkapazitäten des Sendegebildes für die beiden Wellen bedeuten. Der Unterschied

$$\lambda_1 - \lambda_2 = 2\pi \sqrt{L_n (C_f + C_{d'})} - \sqrt{L_n (C_f - C_{d''})}$$

wird dann am kleinsten, wenn $C_{d'} = C_{d''}$. Dieser Fall kann als die angenäherte Resonanz der Wellen λ_1 und λ_2 bezeichnet werden. Zur Ermittlung der hierzu erforderlichen Kapazitätsbelastung C_f werden für eine Reihe von Kapazitäten in der Nähe des angenäherten Resonanzpunktes die Wellenlängen λ_1 und λ_2 mittels des Multiplikationsstabes gemessen und die Ersatzkapazitäten aus den (Gl. 1) und (2) berechnet. Trägt man nun die gefundenen Werte als Funktion der Flaschen-

Digitized by Google

kapazität auf, so nimmt $C_{d'}$ mit wachsendem C_f ab, $C_{d''}$ hingegen zu. Der dem mit großer Schärfe festzustellenden Schnittpunkte beider Kurven entsprechende Wert der Flaschenkapazität soll mit C_f^R bezeichnet werden.

Nach den Versuchen stimmt die Kreiswelle für die angenäherte Resonanz

$$\lambda_k^R = 2\pi \sqrt{L_a \cdot C_f^R}$$

überein mit der Welle des ohne Flaschenkapazität erregten Marconisenders

$$\lambda_0 = 2\pi \sqrt{L_a \cdot C_{d0}},$$

in welcher C_{d0} die Ersatzkapazität des an die Selbstinduktion L_a angeschlossenen Sendegebildes bezeichnet. Es ergibt sich sonach

$$\lambda_k^R = \lambda_0 \quad \text{und} \quad C_f^R = C_{d0}^{1}).$$

Ueber die Bedeutung der angenäherten Resonanz konnten erst eingehende Untersuchungen Aufschluß geben. Das Studium dieser Frage an praktischen Telegraphenanlagen erwies sich als aussichtslos, weil für einen ziffermäßigen Vergleich der Fernwirkung weder das Mikrophon noch der Fritter ausreichend sind. Es mußte zur unmittelbaren Strommessung am Empfänger mit induktionslosen Präzisionsmeßgeräten gegriffen werden, was zwar eine starke Herabsetzung der Entfernungen bedingte, dafür aber den Vorteil hatte, daß unabhängig von den Witterungseinflüssen gearbeitet und jeder Versuch unter den genau gleichen Bedingungen beliebig oft wiederholt werden konnte. Es gelang hierbei, die Fehlerquellen zu erkennen und auszuscheiden. Die nachfolgend angeführten Messungen und die daraus gezogenen Schlüsse stützen sich auf zahlreiche, unter häufig geänderten Versuchsbedingungen gewonnene Ermittlungen.

---

[1]) Die hieraus folgende Beziehung zwischen den Wellen λ_1, λ_2 und λ_0 läßt sich, wie Seibt (s. S. 31) abgeleitet hat, auch durch die Gleichung

$$\lambda_0^2 = \frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{2}$$

darstellen. M. Abraham findet dagegen folgende Beziehung

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2},$$

welche nur angenähert richtig ist, weil bei der theoretischen Ableitung von der nicht zutreffenden Annahme ausgegangen wurde

$$\frac{\lambda_0}{l} = l.$$

Digitized by Google

Als besonders wichtig sind zwei Fehlerquellen zu beachten. Vorerst war bei dem Studium die Fernwirkung beider Wellen zu trennen, was zu ermitteln möglich ist, wenn der Empfänger auf die betreffende Welle mit vollkommener Sicherheit abgestimmt wird. Diese Bedingung läßt sich erfüllen, indem eine geringe Abweichung von der Abstimmung den Verlauf der Kurve ändert, welche die Fernwirkung als Funktion einer veränderlichen Größe darstellt, weil sodann die Wirkungen der anderen Welle hinzutreten.

Eine zweite Fehlerquelle liegt in der Aenderung der Ladefrequenz. Es wurde bereits in III, 2 darauf hingewiesen, daß bei einer Unterbrechung des primären Gleichstromes für den Induktor oder während einer halben Periode der Primärschwingungen eines Transformators im allgemeinen mehrfache Ladungen der Kapazität erfolgen, deren Anzahl mit wachsender Kapazitätsbelastung abnimmt, bis schließlich jedesmal nur eine Entladung erfolgt. Bei jeder Entladung entsteht ein gedämpfter Wellenzug der schnellen Schwingungen. Bei der integrierenden Strommessung am Empfänger wird das Ergebnis aber nicht allein von der Dämpfung der schnellen Schwingungen, sondern auch von der Zahl der Wellenzüge, sohin auch von der Ladefrequenz beeinflußt. Bei Meßreihen mit verschiedenen Kapazitätsbelastungen und gleichbleibendem Funkenpotentiale ändert sich auch die Entladefrequenz und ist sohin ein Vergleich der Wirkungen auf den Empfänger aus den Ablesungen des Hitzdrahtinstrumentes nicht ohne weiteres zulässig. Es wurde in Berücksichtigung dieses Umstandes eine Einrichtung geschaffen, welche die jeweilige Ladefrequenz unmittelbar zu messen gestattete.

Zu diesem Zwecke wurde bei Gleichstrom auf der Turbinenwelle des Unterbrechers und bei Wechselstrom auf der Welle eines synchron laufenden Motors eine schwarze Scheibe befestigt, die einen dünnen weißen Strich vom Mittelpunkte bis zum Umfange trug und von dem grellen Lichte der Funkenstrecke bestrahlt wurde. Für jede Entladung macht sich auf der umlaufenden Scheibe ein leuchtender Strich bemerkbar. Erfolgen demnach für eine halbe Periode des Primärstromes mehrere Entladungen, so ergeben sich mehrere leuchtende Striche nebeneinander (Fig. 47). Bei einem Turbinenunterbrecher mit drei Segmenten entsteht das Bild (Fig. 48). Durch eine geringe Regelung des Primärstromes mittels eines eingeschalteten Widerstandes lassen sich die Striche deutlich voneinander abgrenzen und zählen. Die Ladefrequenz reagiert nun ungemein empfindlich auf Schwankungen der Betriebsspannung oder Aenderungen der Belastungskapazität, bezw.

Digitized by Google

der vom Abbrand der Elektroden abhängigen Funkenspannung und ist man daher auch mit den reglungsfähigsten Widerständen nicht immer in der Lage, für eine Versuchsreihe mit verschiedenen Belastungen stets die gleiche Ladefrequenz zu erhalten. Es muß demnach eine Reduktion der Ausschläge des Hitzdrahtinstruments am

Fig. 47.

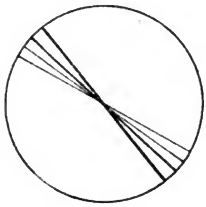
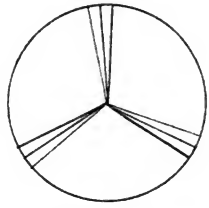
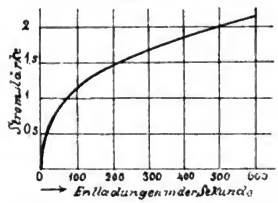


Fig. 48.



Empfänger auf die gleiche Ladefrequenz vorgenommen werden. Es wurde zu diesem Zwecke eine besondere Messungsreihe für sämtliche verwendete Hitzdrahtinstrumente aufgenommen und aufgetragen (Fig. 49). Die Ausschläge sind als Funktion der Entladungszahl (bis zu 600 in der Sekunde) dargestellt. Die Form der Kurve (annähernd eine Parabel) bleibt für alle Meßinstrumente die gleiche, d. h. für bestimmte Aenderungen in der Entladungszahl zeigten alle Strommesser die gleiche prozentuale Aenderung in der Stromanzeige. Bei den Versuchen wurde nun die Ladefrequenz jedesmal ermittelt und die aus der Resonanz sich ergebende höchste Stromstärke nach Fig. 49 auf 100 Entladungen in der Sekunde reduziert. Es beziehen sich sonach sämtliche Stromangaben auf 100 Entladungen in der Sekunde, wiewohl bei Wechselstrom viel mehr Entladungen stattfanden, wie bei Gleichstrom.

Fig. 49.

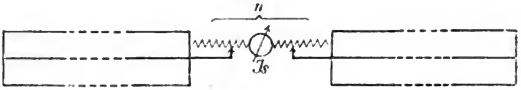


Es ist eine bemerkenswerte Tatsache, daß die Funkenspannung mit wachsender Ladefrequenz abnimmt und die zweiten, dritten u. s. w. Entladungen eines Wechsels immer lichtschwächer werden. Jedenfalls verliert die Funkenstrecke nach der ersten Entladung nicht sofort ihre Leitfähigkeit, so daß die nachfolgenden Entladungen mit geringerem Funkenpotential und daher auch geringeren Strömen erfolgen können.

Digitized by Google

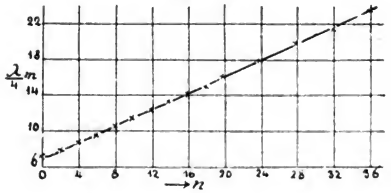
Es liegt der Wert der unterteilten, wie auch der Vakuumfunkenstrecken unter anderem auch darin, daß sie die Leitfähigkeit schneller verlieren und mehr Entladungen bei annähernd normaler Spannung gestatten. (Dies wurde von Simon und Reich [siehe die F. d. T. II, S. 14] bereits eingehend begründet und wird durch die Messung der Fernwirkung durch Slaby bestätigt.)

Fig. 50.



Die mit A und B bezeichneten Versuchsreihen beziehen sich einerseits auf die in (Fig. 38 S. 100) abgebildete Harfe (A), anderseits auf den in (Fig. 43 S. 107) dargestellten Kabelsender (B). Die Anordnungen wurden, um allgemein gültige Ergebnisse ableiten zu können, verschieden gewählt. Bei der Harfe wurde jedesmal die gesamte Fernwirkung, bei dem Kabel, das sich den praktischen Ausführungen in seiner Größe tunlichst näherte, jedoch nur ein Teil der Fernwirkung

Fig. 51.



aufgenommen. Dieses Verfahren zeigte sich als zulässig, da die gefundenen Gesetze sich gegenseitig bestätigen. Um beide Versuchsreihen A und B unmittelbar vergleichen zu können, sind die Werte bei der Harfe nur auf eine Harfenhälfte bezogen, indem das Spiegelbild als Ersatz der Erde angenommen wurde. Die Flaschenkapazität ist dabei durch die auf einer Seite der Funkenstrecke befindliche Kapazität C_f, und die gemeinschaftliche Selbstinduktion durch $l_g = \frac{u}{2}$ gegeben. Die Selbstinduktion wurde hierbei stets für den ganzen, durch u geschlossenen und mit den beiden hintereinander geschalteten Kapazitäten belasteten Kreise gemessen und l_g mit dem halben Werte von L_u in Rechnung gestellt.

Digitized by Google

Die Sendeharfe (Fig. 38) war mit zwei gleichen Funkenstrecken ausgerüstet, welche abwechselnd zum Spiele kamen, je nachdem die

Fig. 52.

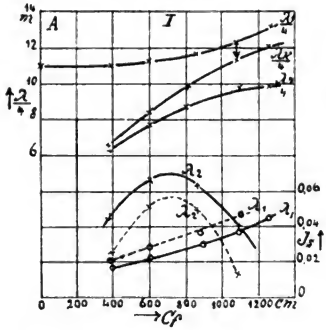
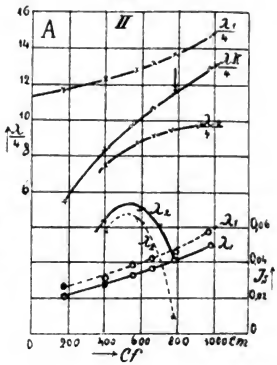


Fig. 53.



direkte oder die indirekte Erregung zur Verwendung kommen sollte. Die Kapazität der beiden Harfen wurde häufig nachgeprüft und ergab

Fig. 54.

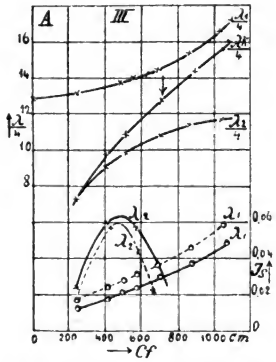
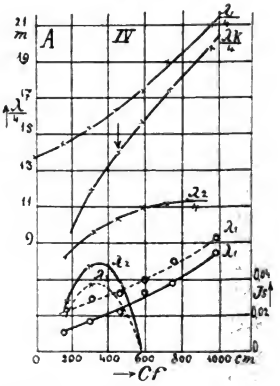


Fig. 55.



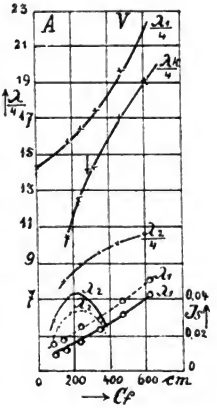
stets den gleichbleibenden Wert von 85 cm. Die Funkenkugeln bestanden aus Zink von 1 cm Durchmesser und hatten den gleichbleibenden

Digitized by Google

Abstand von 1 cm in Luft. Bei Uebergang von einer Erregungsart auf die andere wurde die nicht benötigte Funkenstrecke durch einen Kupferbügel kurz geschlossen.

Als Empfänger diente bei der Versuchsreihe A eine Harfenanordnung, bestehend aus je drei Drähten in je 50 cm Abstand von je 7 m Länge mit einem Drahtdurchmesser von 0,8 mm (Fig. 50). Die beiden gleichen Harfenhälften wurden durch zwei regelbare Drahtspulen von gleichem Bau verbunden, zwischen welchen das Hitzdrahtinstrument geschaltet war. Die Eigenwelle der Harfe wurde für verschiedene Windungszahlen der beiden Spulen festgestellt, wobei die beiden Spulen stets in der gleichen Weise verändert wurden. Die Erregung der Schwingungen erfolgte hierbei durch eine kleine, an die Stelle des Strommessers gesetzte Funkenstrecke. Die Wellenlänge wurde mittels des Multiplikationsstabes gemessen. Die Werte der Wellenlängen (Fig. 51) sind als Funktion der eingeschalteten Spulenwindungszahl aufgetragen. Um unmittelbare elektrische Wirkungen auszuschließen, wurden die beiden Harfen 9 m voneinander entfernt in parallelen Ebenen aufgestellt.

Fig. 56.



Die Versuche sind mit fünf verschiedenen Längen l_g durchgeführt und wurde innerhalb jeder Versuchsreihe die Belastungskapazität in weiten Grenzen verändert. Für jede Kapazitätsbelastung wurden die Wellen am Sender gemessen und die Eigenwelle des Empfängers danach eingestellt. Die Abstimmung war eine so scharfe, daß Stromaufnahmen nur von einer Welle stattfanden und die Wirkung der zweiten Welle für die Strommessung ausgeschaltet blieb. Die jedesmalige primäre Stromaufnahme des mit Gleichstrom betriebenen Induktors wurde durch ein Präzisions-Wattmeter gemessen und an der umlaufenden Scheibe die bei jedem Wechsel auftretenden Entladungen ermittelt. In den (Fig. 52 bis 56) sind die Ströme in der Empfangsharfe für die Wellen λ_1 und λ_2 als Funktion der Belastungskapazität aufgetragen und zwar für die indirekte Erregung ausgezogen, für die direkte gestrichelt. Darüber ist der Verlauf der beiden Wellen λ_1 und λ_2 sowie der Kreiswelle λ_k aufgetragen und der der Welle λ_0 ent-

Digitized by Google

sprechende Punkt der angenäherten Resonanz auf der Kreiswellenkurve durch einen Pfeil bezeichnet. Die Ersatzlänge l_0 der Harfe wurde stets aus der Welle λ_0 abgeleitet.

Bei der Versuchsreihe B wurde die Anordnung (Fig. 38 S. 100) beibehalten und die direkte und indirekte Erregung dadurch erzielt, daß bald die eine, bald die andere Funkenkugel an Erde gelegt wurde. Zur Speisung der Funkenstrecke diente transformierter Wechselstrom.

Fig. 57.

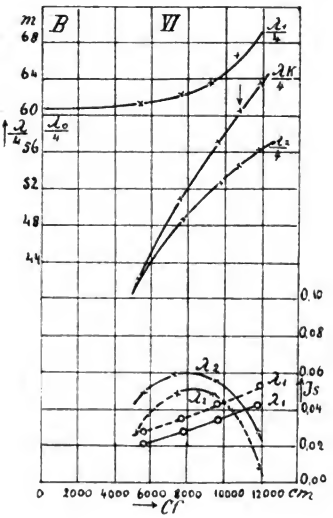
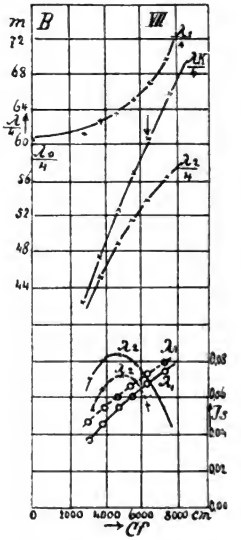


Fig. 58.



Die Reduktion auf die Ladefrequenz 100 wurde ebenso wie bei der Versuchsreihe A durchgeführt. Zur Aufnahme der Fernwirkung diente bei der Versuchsreihe B eine durch einen Kondensator geschlossene Schleife (Fig. 62). Diese war in dem Saale, in welchem sich die Erregung des Kabelsenders befand, aufgestellt. Zur Abstimmung der Empfangsschleife dienten gleichfalls zwei regelbare Spulen, zwischen welche eine kleine Funkenstrecke geschaltet war. An Stelle dieser Funkenstrecke wurde für die Messung der Fernwirkung ein Strom-

Digitized by Google

messer gesetzt, nachdem vorher der Empfänger auf die zu messende Welle eingestellt war.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe B sind in den Fig. 57 bis 61 in genau der gleichen Weise wie bei A aufgetragen und gestatten somit einen unmittelbaren Vergleich.

1. **Indirekte Erregung.** α) Kleine Welle λ_2. Für die Fernwirkung kommt die halbe Welle in Betracht, welche sich in dem

Fig. 59.

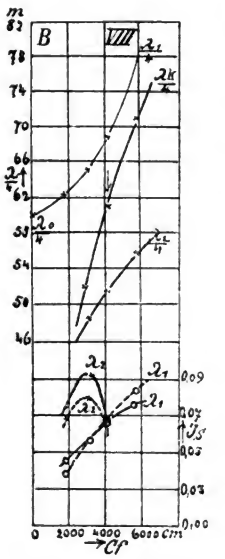


Fig. 60.

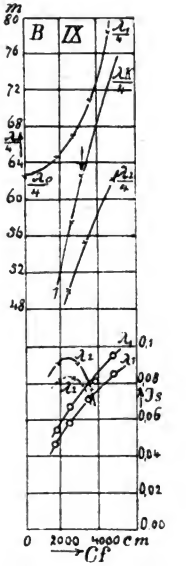
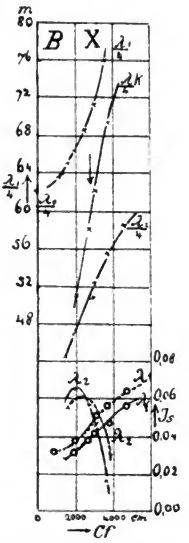


Fig. 61.



mit der Endkapazität C_f belasteten Sendedraht ausbildet. (Vergl. 4.) Ihr Strombauch liegt irgendwo auf der ideellen Drahtlänge l_0.

Maßgebend für die Fernwirkung ist das Quadrat der Stromstärke. Die günstigste Lage des Strombauches ist sonach jene, für welche das Mittel aus dem Quadrate der Stromstärke der einzelnen Leiterelemente ein Maximum wird. Bezeichnet x (Fig. 63) eine beliebige Entfernung von B, so ist der Strom an dieser Stelle proportional sin x. Das Mittel aus den Quadraten

Digitized by Google

$$\frac{1}{x}\int_0^x \sin^2 x\,dx = \frac{1}{2} - \frac{\sin 2x}{4x}.$$

Dieser Ausdruck wird ein Maximum, wenn $\frac{\operatorname{tg} 2x}{2x} = 1$ ist.

Der Winkel $2x$ liegt im dritten Quadranten. Die graphische Lösung liefert $2x = 4{,}49$. Da x den Winkel in Teilen von π bezeichnet, so verhält sich

$$\frac{\frac{\lambda_2}{2}}{\pi} = \frac{l_0}{x}$$

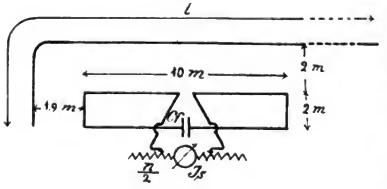
oder

$$\frac{\lambda_2}{4} = \frac{\pi}{4{,}49} \cdot l_0 = 0{,}7\, l_0,$$

das heißt: die für die Fernwirkung günstigste Stromaufnahme wird erreicht, wenn der Strombauch der Welle sich bei 0,3 der Länge des Ersatzleiters, von der Belastungskapazität aus gerechnet, befindet.

Zur Prüfung dieser Bedingung an der Hand der Versuche wurden für beide Versuchsreihen die entsprechenden Werte von l_0 mit denjenigen Wellenlängen λ_2 in einer Tabelle zusammengestellt, für welche die Stromaufnahme am Empfänger ein Maximum ist und ergab sich aus beiden Versuchsreihen übereinstimmend, daß die maximale Fernwirkung entgegen der Theorie nicht bei $\frac{\lambda_2}{4} = 0{,}7\, l_0$, sondern bei $0{,}8\, l_0$ auftritt und erklärt sich dies durch den Einfluß der verminderten Funkendämpfung bei zunehmender Belastungskapazität. Stellt Kurve 1 (Fig. 64) den Verlauf der sekundären Stromaufnahme für gleichbleibende Funkendämpfung dar, so entsteht die Kurve 2 mit nach und nach vergrößerten Ordinaten, wenn die Dämpfung bei wachsender Kapazitätsbelastung abnimmt und wird sohin das Maximum von a nach b verschoben. Uebereinstimmend für beide Versuchsreihen zeigte die Zahlentafel, daß für die maximale Fernwirkung der Oberwelle der Kapazitätskreis auf eine um 20 v. H. kleinere Wellenlänge abgestimmt werden muß, als die des zu koppelnden Sendeleiters.

Fig. 62.



Digitized by Google

β) Große Welle λ_1. Die große Welle zeigt im Gegensatze kein Maximum der Fernwirkung, sondern es nimmt die Fernwirkung mit wachsender Kapazitätsbelastung zu. Dies gibt einen bemerkenswerten Aufschluß bezüglich der Größe der mit Kapazitätsbelastung abnehmen-

Fig. 63.

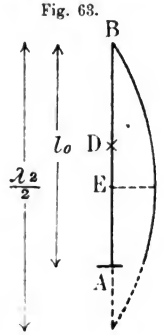
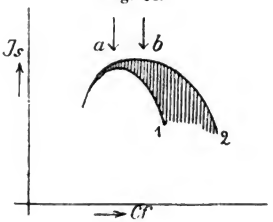


Fig. 64.

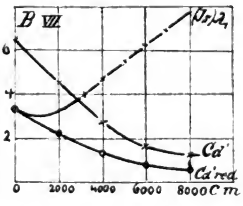


den Funkendämpfung. Wäre die Funkendämpfung unveränderlich, so müßte die Stromaufnahme des Sendegebildes für die Welle λ_1 und sohin auch die Fernwirkung proportional der Ersatzkapazität C_a (genauer $w\,C_a$) sein. Trägt man diese nach der Gleichung

$$\lambda_1 = 2\pi\sqrt{L_a\,(C_f + C_a)}$$

berechnet als Funktion von C_f auf, so fällt sie mit zunehmender Belastung, wie dies in Fig. 65 für den Versuch VII beispielsweise dargestellt ist. Es müßte sonach auch die Fernwirkung abnehmen. Da diese aber, wie das Diagramm zeigt, statt dessen zunimmt, ist der Unterschied nur der abnehmenden Dämpfung bei zunehmender Kapazitätsbelastung zuzuschreiben. Reduziert man die Ordinaten der Kurve $C_a = f(C_f)$, so daß der Anfangswert für $C_f = 0$ der Fernwirkung des Marconisenders ohne Belastung entspricht (für die Versuchsreihe A 0,02 Ampere und für B 0,033 Ampere), so läßt sich die aus der verminderten Dämpfung entspringende Zunahme der Fernwirkung ziffermäßig ableiten. Fig. 66 zeigt die Ergebnisse dieser

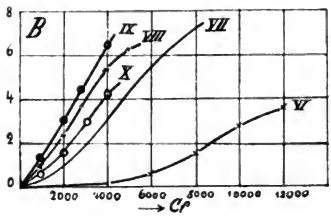
Fig. 65.



Digitized by Google

graphischen Rechnung für die Versuchsreihe B. Die Abszissen der Kurve sind die zusätzlichen Kapazitäten C_f, die Ordinaten die Unterschiede zwischen den wirklich gemessenen Empfängerströmen und den reduzierten Strömen, welche der Ersatzkapazität C_r entsprechen. Der günstige Einfluß der vermehrten Kapazitätsbelastung auf die Funkendämpfung steigt mit zunehmender gemeinschaftlicher Selbstinduktion bis zum Versuche IX, bei welchem sich die günstigste Fernwirkung ergab, um bei Versuch X wieder zu fallen. Dies lehrt, daß der Wert der günstigsten gemeinschaftlichen Selbstinduktion mit der Funkendämpfung zusammenhängt, wie dies noch deutlicher gezeigt wird.

Fig. 66.



γ) Gesamte Energieaufnahme für beide Wellen. Wäre der Sender so einzurichten, daß das Sendegebilde eine maximale Energieaufnahme erfährt, so müßte in diesem Falle die Summe der Fernwirkungen beider Wellen ein Maximum ergeben. In den Fig. 67 und 68 ist diese durchgeführt und entsprechen den Maximalwerten folgende Kapazitätsbelastungen und Kreiswellen.

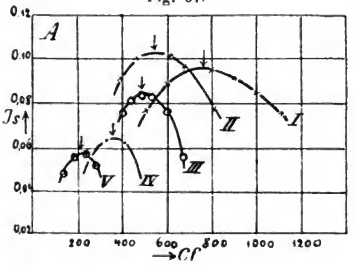
Nr.	C_f	$\frac{\lambda_k}{l}$	$\frac{\lambda_k^K}{l}$	λ_k auf λ_k^K Unterschied in %
I	780	9.4	11.0	17,0
II	570	9.7	11.5	18,6
III	507	10,8	12.8	18,5
IV	375	12,7	13,8	8.6
V	235	12,4	14,3	15.3
			Mittel	15,6
VI	9100	55,7	60,4	8,5
VII	5450	56,1	60,4	7,7
VIII	3150	53.0	60.4	14.0
IX	2800	55.2	62,3	12.9
X	2150	52,8	62,3	18.0
			Mittel	12,2

Will man sonach die größte Energieaufnahme für den Sendedraht erzielen, so muß die Kreiswelle um rund 14 v. H. gegenüber der angenäherten Resonanz verkleinert werden. Für dieses charakteristische

Digitized by Google

Verhalten eines gekoppelten Senders, auf welches v. Slaby zuerst aufmerksam macht, findet sich auch ein gleichartiger Fall in der Akustik. So müssen die beiden Resonanzböden einer Geige auf verschiedene Tonhöhen abgestimmt werden, um ihr die volle Klangfülle zu geben. Auch darf der Resonanzkasten einer Stimmgabel mit dieser nicht genau in Einklang sein.

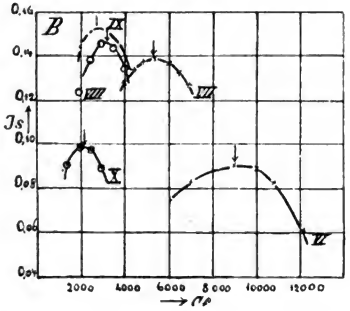
Fig. 67.



Die Wirkungskurven beider Wellen schneiden sich in einem Punkte, welcher nahezu der angenäherten Resonanz entspricht.

Die angenäherte Resonanz ist sonach dadurch gekennzeichnet, daß die Fernwirkung für beide Wellen gleich groß ist. Dieser Fall ist für die Eintönigkeit des Senders der denkbar schlechteste. Arbeitet man dagegen mit der Maximalwirkung der Oberwelle, so ergeben sich wesentlich geringere Fernwirkungen der Grundwelle.

Fig. 68.



Bei den Versuchen II und IX, welche die für die Fernwirkung der Oberwelle günstigste gemeinschaftliche Selbstinduktion haben, ist die Fernwirkung der kleinen Welle um 73 bezw. 84 oder im Mittel um 80 v. H. größer als die Fernwirkung der großen Welle. Man erreicht sonach bei dieser Abstimmung eine praktische oder angenäherte Eintönigkeit.

2. Direkte Erregung. α) Kleine Welle λ_2. Aus den Diagrammen ist zu ersehen, daß die maximale Fernwirkung der kleinen Welle bei annähernd der gleichen Kapazitätsbelastung eintritt wie bei der indirekten Erregung. Die maximale Fernwirkung ist aber, wie

Digitized by Google

die diesfalls gegebene Zusammenstellung zeigt, bei der indirekten Erregung ausnahmslos größer.

Nr.	Maximale Wirkung I indirekte Erregung	II direkte Erregung	Unterschied
I	0,068	0,057	0,011
II	0,071	0,065	0,006
III	0,063	0,059	0,004
IV	0,046	0,036	0,010
V	0,043	0,035	0,008
		Mittel	0,008
VI	0,060	0,053	0,007
VII	0,084	0,075	0,009
VIII	0,093	0,080	0,013
IX	0,094	0,084	0,010
X	0,064	0,061	0,003
		Mittel	0,008

Dies erklärt sich dadurch, daß, wie bereits in den Formeln sub 4 S. 99 gezeigt wurde, für die Oberwelle der Unterschied der Kapazitäten des Belastungskondensators und der Ersatzkapazität des Sendegebildes maßgebend ist. Bei der direkten Erregung werden beide auf gleiches Potential geladen, bei der indirekten Erregung nur die Belastungskapazität. Im ersten Falle muß daher die Schwingungsenergie dem Unterschiede entsprechend kleiner sein. Die praktische Fernwirkung erlischt auch schon bei kleinerer Belastungskapazität C_f bei der direkten Erregung früher als bei der indirekten.

β) Große Welle λ_1. Im Gegensatze hierzu ist die Fernwirkung der großen Welle bei der direkten Erregung stets und zwar um einen bedeutenden Betrag größer, als bei der indirekten Erregung, der bei jeder Versuchsreihe annähernd konstant blieb. Der Unterschied entspricht der durch die Ladung des Sendegebildes vergrößerten Energieaufnahme des gesamten Schwingungssystems. Eine Gleichheit der Wirkungen für die beiden Wellen entsteht bei entsprechenden Kapazitätsbelastungen und ergibt sich die Gleichheit der Fernwirkung beider Wellen bei einer annähernd mit der Resonanzkapazität übereinstimmenden Kapazitätsbelastung. Die Fernwirkung der großen Welle nimmt auch bei der direkten Erregung mit wachsender Kapazitätsbelastung zu.

Digitized by Google

γ) Gesamte Energieaufnahme für beide Wellen. In nachstehender Tabelle sind auf Grund der Fig. 69 und 70, welche die Summe der Stromaufnahmen des Empfängers als Funktion der Be-

Fig. 69.

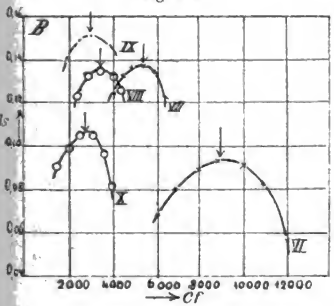
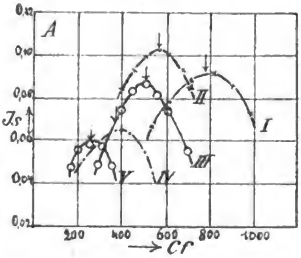


Fig. 70.



lastungskapazität zeigen, diejenigen Kapazitäten eingetragen, für welche die Aufnahme maximal ist. Daneben sind die zugehörigen Kreiswellen und die Grundwellen des unbelasteten Marconisenders eingetragen.

Nr.	C_f	$\frac{\lambda_b}{4}$	$\frac{\lambda_b^{\prime\prime}}{4}$	Unterschied in %
I	770	9,3	11,0	18,3
II	555	9,6	11,5	19,8
III	490	10,6	12,8	20,7
IV	360	12,5	13,8	10,4
V	225	12,9	14,3	10,8
VI	9200	56,0	60,4	7,9
VII	5450	56,0	60,4	7,9
VIII	3550	56,3	60,4	7,3
IX	3100	58,0	62,3	7,5
X	2700	59,0	62,3	5,5

Auch hier zeigt sich übereinstimmend für beide Versuchsreihen, daß die maximale Energieaufnahme dann eintritt, wenn die Kreiswelle kleiner ist, als die Grundwelle des gekoppelten Marconisenders.

Die günstigste gemeinschaftliche Selbstinduktion. Nach den Versuchen ist für die maximale Fernwirkung der Oberwelle ein be-

stimmter Wert der gemeinschaftlichen Selbstinduktion erforderlich. Aus vorhergehenden Betrachtungen ergibt sich bei Vernachlässigung der Dämpfung, daß die maximale Fernwirkung dann eintritt, wenn die beiden Schwingungen mit tunlichst kleiner gemeinschaftlicher Selbstinduktion, also in der Funkenstrecke gekoppelt werden. Praktisch verlangt aber die beste Fernwirkung einen größeren Wert der Selbstinduktion und findet dies in der Dämpfung die Begründung.

In III. 2. wurde für diese Erscheinung eine Erklärung zu geben gesucht, welche durch die neueren Versuche an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat. Diese Erklärung wird nun ausführlicher wiederholt und erweitert.

Wird der gekoppelte Schwingungskreis als einheitlich schwingendes System aufgefaßt, was zulässig erscheint, so lassen sich die Dämpfungsursachen in zwei Teile zerlegen. Die durch Funken- und Leitungswiderstand, Selbstinduktion und Kapazität hervorgerufenen Dämpfungseinflüsse kann man sich durch einen einzigen ideellen Widerstand ersetzt denken, der als der innere Widerstand des Schwingungssystems mit W_i bezeichnet werden soll. Der durch diesen hervorgerufene Verlust wird im wesentlichen eine Funktion des Quadrates der Stromstärke sein. Der zweite Teil der Dämpfungsursachen bezieht sich auf die magnetische Strahlung des Sendegebildes und ist deren sekundlicher Energiewert die Nutzarbeit des Schwingungssystems. Da nun die Fernwirkung dem Quadrat des effektiven Ladestromes für das Sendegebilde proportional ist, läßt sich auch die Nutzarbeit als in einem ideellen Widerstande W_n geleistet ansehen und sei dieser Widerstand als der äußere oder Nutzwiderstand des Schwingungssystems bezeichnet.

Hiernach ist das Schwingungssystem ein elektrischer Generator von einem gewissen inneren Widerstande, der in einem äußeren Widerstande Nutzarbeit leistet. Es ist hier die Funkenstrecke jene Stelle, bei welcher die Umwandlung potentieller Energie in die kinetische Form eingeleitet wird. Ein Generator leistet bekanntlich dann die maximale Nutzarbeit, wenn der äußere Widerstand gleich dem inneren Widerstande ist. Die Anwendbarkeit dieses Satzes auf den gekoppelten Schwingungskreis soll nun an der Hand der Versuche geprüft werden.

Die Nutzarbeit oder die sekundliche Strahlungsenergie ist der sekundlichen Ladungsenergie der Ersatzkapazität

$$E^2 \omega C_{d''} = E^2 \frac{C_{d''}}{\sqrt{L_n (C_f + C_{d''})}}$$

Digitized by Google

proportional, wenn E den Mittelwert der verfügbaren Ladespannung, die als gleichbleibend anzusehen ist, bezeichnet. Der ideelle äußere Widerstand W_u ist aber der Nutzarbeit proportional und darf, wenn α einen unveränderlichen Faktor bedeutet, gesetzt werden:

$$W_u = \alpha \frac{C_{a''}}{\sqrt{L_u (C_f + C_{a''})}}.$$

Die relativen Messungen des Funkenwiderstandes (III. 1.) haben gezeigt, daß dieser innerhalb gewisser Grenzen der Wurzel der Kapazitäten umgekehrt proportional ist. Bei den früheren Versuchen wurde ein etwaiger Einfluß der Selbstinduktion auf den Funkenwiderstand in der Annahme unberücksichtigt gelassen, daß die ideelle Federwirkung, welche die Selbstinduktion im Wechselstromkreise darstellt, auf den Funkenwiderstand keinen Einfluß ausüben könne. Die Arbeiten von Drude und von Rempp (siehe S. 54 u. 56) über die Dämpfung von Kondensatorkreisen mit Funkenstrecken erweisen jedoch, daß der Funkenwiderstand in recht erheblichem Maße von der Selbstinduktion des Schwingungskreises beeinflußt wird und mit wachsender Selbstinduktion zunimmt. Für kleinere Funkenlängen (bis zu 2 mm) ist nach Drude die Gesamtdämpfung des Kreises von L und C fast unabhängig, wird dagegen nach Rempp für größere Funkenlängen (10 bis 40 mm) von der Kapazität stark beeinflußt. Der der gesamten Dämpfung entsprechende scheinbare Widerstand ist nach Rempp dem Werte $\frac{1}{\sqrt{C}}$ annähernd proportional und steht dies, da auch nach Rempp für den gesamten scheinbaren Widerstand der Funkenwiderstand fast ausschließlich maßgebend ist, im Einklange mit der Messung von Slaby, nach welcher die Leitfähigkeit der Funkenstrecke für nicht zu große Kapazitäten nahezu proportional der Wurzel aus den Kapazitäten ist (siehe Fig. 92 in d. F. d. T. III, S. 111).

Hiernach läßt sich der scheinbare Gesamtwiderstand des Schwingungssystems setzen

$$W_i = \frac{\beta}{\sqrt{C_f + C_{a''}}},$$

worin β eine Konstante bedeutet. Der maximalen Nutzarbeit entspricht sonach die Bedingung:

$$\frac{\alpha C_{a''}}{\sqrt{L_u (C_f + C_{a''})}} = \frac{\beta}{\sqrt{C_f + C_{a''}}}$$

Digitized by Google

oder

$$\frac{C_{d''}}{\sqrt{L_n}} = \text{konst.}$$

Für die maximale Fernwirkung hat sich bereits ergeben

$$C_{d''} = \frac{\operatorname{tg} x_2}{x_2} \cdot C_d,$$

worin

$$x_2 = \frac{\frac{\pi}{2} l_0}{\frac{\lambda_2}{4}} \quad \text{und} \quad \frac{\frac{l_0}{\lambda_2}}{\frac{4}{4}} = \frac{1}{0{,}8},$$

so daß auch zwischen $C_{d''}$ und C_d ein gleichbleibendes Verhältnis besteht und folgt hieraus auch

$$\frac{C_d}{\sqrt{L_n}} = \text{konst.}$$

Dies wird auch durch die beiden Versuchsreihen A und B bestätigt.

In den Fig. 71 und 72 sind die Fernwirkungen der Oberwelle für beide Erregungsarten als Funktion der gemeinschaftlichen Selbst-

Fig. 71.

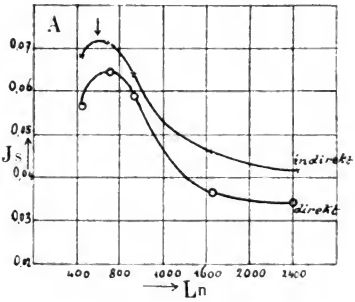
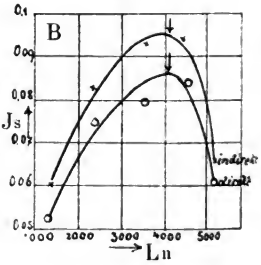


Fig. 72.



induktion aufgetragen. Es ergibt sich die günstigste Fernwirkung bei der Versuchsreihe A für $L_n = 650$ cm, bei B für $L_n = 4020$ cm. Die entsprechenden statischen Kapazitäten der Sendegebilde sind 170 bezw. 442 cm und folgt daraus für $\frac{C_d}{\sqrt{L_n}}$

Digitized by Google

$$(A)\quad \frac{170}{\sqrt{650}} = 6{,}67,$$

$$(B)\quad \frac{442}{\sqrt{4020}} = 6{,}97$$

in ziemlich guter Uebereinstimmung mit der abgeleiteten Bedingung.

Die Fernwirkung der großen Welle zeigt für beide Erregungsarten das gleiche Verhalten und nimmt diese mit wachsender Kapa-

Fig. 73.

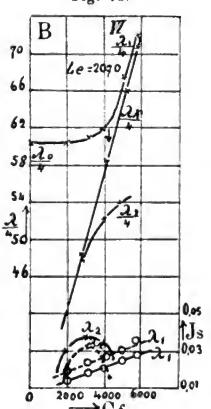
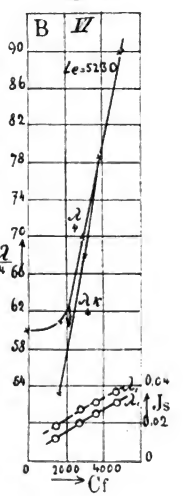


Fig. 74.



zitätsbelastung stetig zu. Die Fernwirkung ist bei der direkten Erregung um einen annähernd gleichbleibenden Betrag größer, als bei der indirekten. Die Fernwirkungen bei den Kapazitätsbelastungen, welche der Maximalwirkung der Oberwelle entsprechen, sind diesen annähernd proportional und trifft daher die Beziehung für die günstigste gemeinschaftliche Selbstinduktion auch für diese Wellen zu.

Fernwirkung des Senders mit Selbstinduktion im Erdungsdraht. Der in 4 erwähnte Kabelsender erscheint in Bezug auf die Fernwirkung minderwertig. Vergleicht man Fig. 57, welche die Fernwirkung des Senders VI ohne L_z darstellt, mit den

Digitized by Google

in der gleichen Weise für $L_e = 2070$ bezw. 5230 cm erhaltenen Fig. 73 und 74, so läßt sich die Abnahme der Fernwirkung mit wachsendem L_e erkennen. Die Fernwirkung der Oberwelle konnte für $L_e = 5230$ cm überhaupt nicht mehr nachgewiesen werden. Bei der Versuchsreihe $L_e = 2070$ cm fallen die Punkte gleicher Fernwirkung beider Wellen ziemlich mit der angenäherten Resonanz zusammen.

Schlußbetrachtungen. 1. Die Gleichstimmung der beiden Schwingungsbahnen oder die Resonanz des Systems in sich ist nach diesen Versuchen weder von ausschlaggebender Bedeutung für die gesamte Energieaufnahme des Sendegebildes, noch für die Fernwirkung. Sie erweist sich im Gegenteile schädlich, weil sie die Fernwirkung auf beide Wellen gleichmäßig verteilt. Nun liegen diese Wellen weder so nahe aneinander, daß eine Abstimmung des Empfängers auf einen Mittelwert möglich ist, noch so weit auseinander, daß die Abstimmung auf eine der beiden vorteilhaft erscheint.

2. Beim gekoppelten Sender hat man für die Fernwirkung stets mit zwei Wellen von verschiedener Größe zu rechnen und besteht die kleinere Welle nicht unabhängig von der großen, sondern ist nichts als deren erste Oberwelle. Sie tritt, wie alle Oberwellen, im Sendegebilde mit geringerer Energie auf. Spielt sie trotzdem für die Fernwirkung eine wichtigere Rolle wie die Grundwelle, so liegt dies darin, daß sie eine günstigere Lage des maßgebenden Strombauches im Sendedraht besitzt als letztere. Während bei der Grundwelle der Strombauch in den geschlossenen Kapazitätskreis fällt und für die Fernwirkung ausscheidet, läßt sich der Strombauch der Oberwelle ziemlich weit in den Sendeleiter hineinrücken und für die Fernwirkung ausnützen. Es ist dies vielleicht der größte Vorteil des gekoppelten Senders. Statt der Viertelwelle Marconis wird eine halbe Welle mit höher gerücktem Strombauch verwendet. Die günstigste Lage dieses Strombauchs hängt von der durch die Belastungskapazität bedingten Leitfähigkeit der Funkenstrecke ab. Die theoretisch günstigste Lage des Strombauchs ist bei 0,3 der Gesamtlänge des Sendeleiters. Dieser Punkt rückt für die Fernwirkung wegen der Zunahme der Leitfähigkeit mit wachsender Kapazitätsbelastung etwas nach unten und ist daher die günstigste Wellenlänge um etwa 20 v. H. größer, als die theoretisch abgeleitete. Bei dieser Anordnung ist die Fernwirkung der Grundwelle um etwa 80 v. H. kleiner als die der Oberwelle. Die Abstimmung des Empfängers auf die Ober-

Digitized by Google

welle ist sonach auch aus dem Grunde empfehlenswert, als man in diesem Falle den Sender als praktisch eintönig betrachten kann. Die Verwendung der Oberwelle gestattet günstige Fernwirkung bei geringer Kapazitätsbelastung.

3. Eine völlige Eintönigkeit des Senders ist bei Verwendung der Oberwelle nicht zu erreichen, wohl aber bei Verwendung der Grundwelle. Die Fernwirkung der Oberwelle nimmt, wie die Diagramme zeigen, nach der günstigsten Kapazitätsbelastung ab und erreicht bei deren Verdopplung einen Wert, der nicht mehr nachweisbar ist, sohin eine Empfängerabstimmung auf die Grundwelle nicht mehr beeinflußt. Das System schwingt in diesem Falle praktisch nur noch in der Grundwelle, für welche der günstige Einfluß vermehrter Kapazitätsbelastung auf die Leitfähigkeit der Funkenstrecke dauernd bestehen bleibt. Es ist daher bei Wahl ausreichender Kapazitäten möglich, mit der Grundwelle eine die maximale Wirkung der Oberwelle übertreffende Fernwirkung zu erzielen. Allerdings wird hier wegen der ungünstigen Gestaltung der Welle am Sendedraht, welcher nur den oberen Spannungsabschnitt derselben aufnimmt, ein erheblich verminderter ökonomischer Wirkungsgrad erzielt. Da es häufig, namentlich für Stationen großer Reichweite, welche ausgedehnte Maschinenanlagen voraussetzen, auf die Oekonomie nicht so sehr ankommt, aber für diese die Forderung der Eintönigkeit dringlich hervortritt, ist hier ein Mittel zu deren Erreichung gegeben.

4. Zwischen der Fernwirkung bei der direkten und der indirekten Erregung zeigt sich ein bemerkenswerter Unterschied. Die Grundwelle liefert stets größere Fernwirkung bei der direkten Erregung. Der Unterschied ist der Ladung des Sendegebildes proportional und die Fernwirkung überhaupt proportional der aufgewendeten Energie. Die Fernwirkung der Oberwelle ist hingegen bei der indirekten Erregung immer größer. Für die Oberwelle erscheint der Unterschied der Kapazität des Belastungskondensators und der Ersatzkapazität des Sendegebildes maßgebend. Bei der direkten Erregung werden beide auf gleiches Potentiale geladen, bei der indirekten hingegen nur die Belastungskapazität. Die Schwingungsenergie, welche dem Unterschiede annähernd proportional ist, muß im ersteren Falle sonach kleiner sein. Es wird daher in der Praxis immer die indirekte Erregung anzuwenden sein, wenn man mit der Oberwelle arbeiten will und die direkte Erregung bei Verwendung der Grundwelle. Im letzteren Falle ist die Eintönigkeit bei direkter Erregung mit geringerer Belastungskapazität zu erreichen, als bei der

Digitized by Google

indirekten Erregung und wird daher der Wirkungsgrad ökonomischer. Die größere Gefährlichkeit der direkten Erregung kommt bei größeren Stationen wohl kaum in Betracht.

5. Wiewohl nach der Theorie ohne Berücksichtigung der Dämpfungsverhältnisse zur Erzielung der größten Fernwirkung die gekoppelten Schwingungsbahnen eine möglichst geringe gemeinsame Selbstinduktion haben sollen, ergibt sich unter Berücksichtigung der Dämpfung, daß zur Erzielung der günstigsten Fernwirkung die gemeinschaftliche Selbstinduktion einen gewissen, wenn auch nur kleinen Wert besitzen muß. Der günstigste Wert dieser gemeinsamen Selbstinduktion steht nun in einer bestimmten Beziehung zur Kapazität des Sendegebildes. Die günstigste Wirkung ergibt sich für $\frac{C_A}{\sqrt{L_a}} = 6.8$.

6. Der gekoppelte Kapazitätskreis soll außer der gemeinschaftlichen eine möglichst geringe Selbstinduktion besitzen. Die Schaltung einer Selbstinduktion in die Erdverbindung des Kondensators erweist sich als schädlich. Es ist sonach eine tunlichst induktionslose Erdung der Belastungskapazität zur Erzielung einer guten Fernwirkung unter allen Umständen anzustreben.

7. Bei Betrachtung der vorgeführten Versuche im Zusammenhang ergibt sich die Notwendigkeit, mit den bisherigen Anschauungen über die Wirkung der gekoppelten Senderformen teilweise zu brechen. Nach der üblichen Auffassung, welche in dem gekoppelten Kapazitätskreis ein Energiereservoir annimmt, aus welchem dem Sendegebilde die durch die Fernwirkung verloren gehende Energie nachgeliefert wird, müßte neben der stark gedämpften Schwingung des Sendekreises eine weniger gedämpfte des Kapazitätskreises bestehen. Nach den vorliegenden Arbeiten wurde jedoch der experimentelle Beweis erbracht, daß die Schwingungen des gekoppelten Systems einheitlich sind. Die auftretenden Schwingungen sind Grund- und Oberwelle des gesamten Systems und nicht eines Teiles desselben. Eine partiell oder lokal auftretende Dämpfungsursache wirkt deshalb auf das ganze System zurück. Der bisherigen Schwungradtheorie gegenüber erscheint die Auffassung viel berechtigter, daß das gekoppelte System wie ein Generator zu betrachten ist, welcher ähnlich wie eine elektrische Batterie Nutzarbeit nur unter Aufwendung einer gewissen inneren oder Verlustarbeit leisten kann. Das für alle elektrischen Generatoren mit konstanter E. M. K. gültige Gesetz, daß die maximale Nutzarbeit geleistet wird, wenn die innere Verlustarbeit ebenso groß, das heißt der elektrische Wirkungs-

Digitized by Google

grad 1,2 ist, hat sich experimentell auch für das gekoppelte Schwingungssystem als zutreffend erwiesen.

Die Nutzarbeit steigt unter diesen Verhältnissen mit der Verlustarbeit und da diese zum weitaus überwiegenden Teile durch den Funkenstrom bedingt ist, so ergibt sich noch ein weiterer Vorteil des gekoppelten Senders aus der Verstärkung des Funkenstromes.

Die Abstimmung in der drahtlosen Telegraphie[1]). Dr. Gustav Eichhorn bringt, nachdem durch M. Wien und P. Drude, was die Theorie anbelangt, eine absolut klare Einsicht geschaffen wurde, einen Ueberblick über die Ergebnisse von Theorie und Praxis innerhalb der Grenzen, welche durch die Natur der bestehenden praktischen Anordnungen von selbst festgelegt werden.

Durch die Einführung der von F. Braun geschaffenen gekoppelten Systeme war gegenüber dem Marconisender die Möglichkeit gegeben, nicht nur unbegrenzte Energiemengen zu entwickeln, sondern auch die Schwingungen eine gewisse Zeit aufrecht zu erhalten. Hierdurch war auch die Grundlage für die Ausbildung einer rationellen Methode der praktisch so überaus wichtigen Abstimmung gegeben.

Bei den gekoppelten Systemen werden durch die Entladungen über eine Funkenstrecke in einem geschlossenen primären Kreise von großer Energiekapazität Schwingungen erregt, die deshalb schwach gedämpft sind. Die Ausstrahlung wird von dem mit dem primären Systeme gekoppelten sekundären Kreise von sehr kleiner Energiekapazität besorgt, der hierdurch enorm gedämpft ist.

Die Kopplung definiert sich durch $k^2 . L_1 L_2 = L_{12}^2$ oder der Kopplungskoeffizent

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}},$$

worin $L_1 L_2$ die Selbstinduktionskoeffizienten der einzelnen Systeme und L_{12} den Koeffizienten der wechselseitigen Induktion bedeuten. Für k gilt immer die Beziehung

$$0 < k \leq 1.$$

Zwecks induktiver Erregung des offenen Sekundärkreises (Luftdrahtes) befindet sich an dessen unterem Ende stets eine Spule. Der Luftdraht muß, um eine kräftige Ausstrahlung zu erreichen und auch die Hindernisse der Umgebung zu überwinden, möglichst lang gemacht werden. Es besteht sonach ein großer Teil von L_2 aus dem Selbst-

[1]) D. P. Z. 1905, S. 13.

Digitized by Google

induktionskoeffizienten des Luftdrahtes, der recht bedeutende Werte annehmen kann. Der Grenzfall vollkommen fester Kopplung, d. i. $k = 1$, bei welchem magnetische Kraftlinien des primären Kreises durch die gesamte Stromfläche des sekundären Kreises hindurch gehen, ist sonach praktisch unmöglich.

Es beschränken sich daher die für die drahtlose Telegraphie möglichen Fälle auf eine zwar vorherrschende aber nicht vollkommene Kopplung bis herunter zu einer Kopplung $k = 0$.

Durch diese Beschränkung mindern sich die von der Theorie vorausgesehenen Fälle auf die folgenden Möglichkeiten ab, wobei Abstimmung der Einzelsysteme vorausgesetzt ist.

A. Vorherrschende Kopplung. Bei dieser ergeben sich zwei wirksame Schwingungen. Die eine davon ist um so viel höher als der gemeinsame Eigenton, wie die andere tiefer ist. Beide haben fast gleiche Dämpfung, die gleich dem arithmetischen Mittel aus der Dämpfung der Einzelsysteme ist. Die infolge der verschiedenen Schwingungszahlen entstehenden Schwebungen bedingen höhere Maximalwerte des Potentials und wird dadurch die spezifische Wirkungsart der vorherrschenden Kopplung unterstützt.

Wie die Theorie erweist, ist es am vorteilhaftesten, im primären Kreis möglichst große Kapazität mit möglichst kleiner Selbstinduktion zu kombinieren.

B. Lose Kopplung. Bei dieser, d. h. bei vorherrschender Dämpfung resultiert als wirksam nur eine einzige Schwingung, deren Dämpfung auf den relativ kleinen Wert der Dämpfung durch ganz lose Kopplung gebracht werden kann.

In diesem Falle scheint es auf Grund des Thomson-Kirchhoffschen logarithmischen Dekrements $\delta = \pi W \sqrt{\frac{C}{L}}$ vorteilhaft zu sein, der Kapazität im primären Kreise kein zu großes Uebergewicht über die Selbstinduktion zu geben; experimentelle Untersuchungen von Drude ergaben jedoch, daß die Dämpfung nicht mit abnehmender Selbstinduktion wächst, indem die durch vorstehenden Ausdruck definierte Dämpfung nicht mit $\sqrt{\frac{C}{L}}$ variiert, weil W nicht gleichbleibend ist, sondern sich mit C und L stark ändert. Es scheint sonach die Dämpfung im Funken das Ausschlaggebende und demnach auch bei loser Kopplung eine möglichst große Kapazität günstig zu sein.

Allgemein ist der wirksame Widerstand eine noch unbekannte Funktion der Elektrizitätsmenge, Spannung und Schwingungszahl. Im

Digitized by Google

vollständig geschlossenen Kreise ohne Funkenstrecke wächst nach Untersuchungen von Kleiner W proportional zu dem Quadrate der Schwingungszahl.

Die Reduktion der Dämpfung läßt sich nach diesen Feststellungen nur auf dem Gebiete der losen Kopplung bis zu jenen äußersten Grenzen treiben, wie solche heute durch die Senderanordnungen gegeben sind.

Auf der anderen Seite werden jedoch mit immer loser werdender Kopplung die Potentialamplituden der ausgehenden Wellenzüge immer mehr verkleinert und dementsprechend auch die zu überbrückende Entfernung verringert. Um bedeutende Entfernungen zu überbrücken, muß die Kopplung fester sein, wodurch nach Wien die Potentialamplitude auf das $\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ fache hinaufgetrieben werden kann.

Es findet sonach zwischen Abstimmung und Entfernung ein gewisser Gegensatz statt, doch läßt sich zwischen beiden ein günstiges Kompromiß schließen, welches gleichfalls nach Wien an der Scheidegrenze zwischen den beiden Gebieten liegt, d. h. wo die Kopplung gleich ist dem Dämpfungsunterschiede der Einzelsysteme.

Betrachtet man zunächst den Empfänger, so findet man für den scharf gekoppelten Empfänger ganz das gleiche, wie für den gekoppelten Sender. Gleiche Eigenschwingungszahlen und gleiche Kopplung vorausgesetzt, ergeben sich die gleichen Schwingungszahlen mit gleicher, dem arithmetischen Mittel aus den Dämpfungen der den Einzelsystemen entsprechenden Dämpfung. Im günstigsten Falle, d. h. wenn man die Dämpfung des vollständig in sich geschlossenen Sekundärkreises als verschwindend klein annimmt, kann diese Dämpfung nur auf die Hälfte der enormen Dämpfung des Empfangsdrahtes gebracht werden. Auf der anderen Seite wird aber durch die große Windungszahl des sekundären Kreises die Potentialamplitude hinauftransformiert. Die Anwendung fest gekoppelter Sender und Empfänger kann sonach für eine scharfe Abstimmung gar nicht in Betracht kommen. Man erhält aber dafür die günstigsten Bedingungen für die Bewältigung großer Entfernungen infolge der erreichbaren Maximalamplituden.

Dagegen ergibt sich für den lose gekoppelten Empfänger in gleicher Weise wie bei dem lose gekoppelten Sender nur eine einzige Schwingung als wirksam mit einer Dämpfung, die durch ganz lose Kopplung auf den verschwindend kleinen Wert der Dämpfung des geschlossenen sekundären Empfangskreises herabgemindert werden kann. Die hierdurch gegebene Möglichkeit ist aber dermalen noch zwecklos, da im günstigsten Falle bei ganz lose gekoppeltem Sender die Dämpfung der

Digitized by Google

wirksamen Senderschwingung durch die Funkenstrecke des primären Kreises unvergleichlich größer ist.

Je kleiner die Dämpfung, umso schärfer ist natürlich die Resonanz, und umso kleiner kann die Dissonanz zwischen zwei gleichzeitig wirksamen Schwingungen sein, ohne daß Interferenz auftritt. Nach Wien soll bei gleichen Entfernungen die Empfindlichkeit des Empfängers für die richtige Schwingung mindestens doppelt so groß sein, wie für abweichende Schwingungen. Bei verschiedenen Entfernungen bezw. verschiedenen Intensitäten der auftreffenden Wellen soll diese Empfangsempfindlichkeit mindestens viermal so groß sein. Die notwendige Dissonanz für die abweichende Schwingung brauchte demnach im ersteren Falle nur etwa 5 v. T. und im zweiten Falle etwa 5 v. H. zu betragen. In dieser Schärfe ist bei den heutigen Anordnungen, wenn sie ganz lose gekoppelt sind, die Abstimmung bezw. eine sichere Mehrfachtelegraphie zu erreichen.

Man erhält im Vergleich zur festen Kopplung bei angenommener gleicher Amplitude der einlangenden Wellen im lose gekoppelten Empfänger eine mehrfach vergrößerte Amplitude, die nur durch die infolge der losen Kopplung geringe Dämpfung der wirksamen Senderwelle erzielt wurde. Gleichzeitig findet aber eine sehr bedeutende Herabminderung der Potentialamplitude statt.

Nachteil und Vorteil in dieser Hinsicht verhalten sich etwa wie 100 : 10 und verringert sich diesem Verhältnisse entsprechend die Höchstentfernung, bei welcher neben Abstimmung auch noch Betriebssicherheit besteht. Sei die Tragweite einer normalen verhältnismäßig fest gekoppelten Anordnung 500 km, so wird die lose Kopplung im Sender und Empfänger bis auf etwa 50 km eine sehr scharfe Ausscheidung in der Weise ermöglichen, daß man auch bei verschiedenen Entfernungen innerhalb der Anzahl der üblichen und praktisch möglichen Wellenlängen mit mindestens 50—100 Stationen gleichzeitig arbeiten könnte.

Für die heutige Praxis der drahtlosen Telegraphie erscheint eine derartig scharfe Ausscheidung, wie sie vorstehend gekennzeichnet wurde, jedoch noch nicht erforderlich. Es ist hinreichend, wenn man mit Wellenlängen gleichzeitig telegraphieren kann, die etwa zwischen 10 und 15 v. H. der Schwingungszahl voneinander abweichen und das läßt sich schon heute auf Entfernungen von 100—200 km mit Sicherheit erreichen.

Bei Vorführung der auf diesen Grundlagen ausgebildeten Mehrfachtelegraphie auf der Ostseestation der Gesellschaft für drahtlose

Digitized by Google

Telegraphie betrug der Unterschied in den beiden wirksamen Wellenlängen etwa 15 v. H. Die Tendenz zu einer Störungsfreiheit machte sich innerhalb der Entfernungen von 10—170 km sehr bemerklich. Von 10 km aufwärts nahm diese Tendenz bei der sich entfernenden Schiffsstation zu und war die Selektion von 17—170 km eine absolut reine und zuverlässige, so daß der Unterschied der wirksamen Wellenlängen noch erheblich kleiner hätte sein können. Wenn dies schon bei den wechselnden, daher ungünstigen Entfernungsverhältnissen erreichbar war, so muß dies bei gleichbleibenden Entfernungen noch viel schärfer zum Ausdrucke gelangen.

Um alle Vorteile auszunützen, die sich aus der theoretischen Unterscheidung der spezifischen Wirkungsweisen der Kopplungsarten ergeben, ist es nach Drude am besten, bei loser Kopplung des Empfängers einen auf einen Integraleffekt ansprechenden Wellenanzeiger, also einen bolometrischen oder elektromagnetischen an Stelle des Fritters anzuwenden. Bei dem Fritter kommt es, wie bekannt, auf die Größe der maximalen Spannungsamplitude der pulsierenden Schwingungen an und erweist er sich demnach für vorherrschende Kopplung, also für sehr große Entfernungen, besonders geeignet. Wie die Erfahrung lehrt, leistet er aber auch in Fällen loser Kopplung gute Dienste.

Aus vorstehenden Erläuterungen geht hervor, daß eine Abstimmung in der drahtlosen Telegraphie, die selbst dann, wenn die günstigsten theoretischen Möglichkeiten wegen eines notwendigen Verzichts auf Intensität nicht realisiert werden können, in einer den praktischen Bedürfnissen entsprechenden Weise möglich ist.

Tissot-Untersuchungen über die Periode der Sendegebilde verschiedener Form[1]). Mittels des drehenden Spiegels läßt sich, insbesondere bei direkter Erregung, die Periode der Luftdrähte wegen der großen Dämpfung nicht mit Genauigkeit bestimmen. Es erübrigt daher nichts als die Periode des Sendesystemes auf andere Weise zu ermitteln.

Für diese Zwecke wurde in verschiedenen Fällen der allgemein bekannte Vorgang eingehalten, wonach ein geschlossener Schwingungskreis erregt wird und sodann dessen Konstanten so lange geändert werden, bis er sich in Resonanz mit dem zu studierenden Kreise befindet. Der Resonator setzte sich aus einem rechteckigen oder kreisförmigen Rahmen zusammen, der nur eine einzige Windung und einen veränderlichen Luftplattenkondensator enthielt.

---

[1]) E. E. Bd. 41, Nr. 48.

Digitized by Google

Die Selbstinduktion des Rahmens wurde durch Rechnung erhalten, die Kapazität durch Messung in absoluten Werten bestimmt. Sobald es sich um eine Messung des Empfanges handelt, läßt man den Resonator durch das Empfangsdrahtgebilde erregen und schaltet in den Resonatorkreis ein Bolometer von geringem Widerstand. Man kann auf diese Weise die Bestimmung mehrere Kilometer von der Sendestation entfernt durchführen.

Behufs Messung der Periode der Sendung genügt es, den Resonator unmittelbar durch das Sendegebilde zu erregen, in welchem Falle das Bolometer, welches zu empfindlich ist, durch irgend ein passendes thermisches Amperemeter ersetzt wird. Es läßt sich jedoch auch das Bolometer zur Messung der Sendung verwenden, doch wird es dann nicht in den Resonatorkreis, sondern in einen kurzgeschlossenen Zusatzkreis geschaltet, der in der Nähe des Resonatorkreises aufgestellt wird. Der Resonator enthält dann eine Selbstinduktion und eine Kapazität ohne jedwede Hilfsverbindung.

Man untersucht vorerst auf die Uebereinstimmung mit den folgenden Sätzen, welche die gebrauchten Meßmethoden sowohl für die Sendung als den Empfang rechtfertigen.

1. Wenn zwei Systeme A und B in Resonanz sind, so ist der zu erhaltende Wert für die Periode der gleiche, ob man die Messung für die Sendung an A oder an B und für den Empfang an B oder an A macht.

2. Befinden sich zwei Systeme A und B in Resonanz mit einem dritten Systeme C, so sind sie auch gegenseitig in Resonanz und haben die gleiche Periode.

Der Vergleich der Perioden fadenförmiger einfacher und mehrfacher Sende- bezw. Empfangsgebilde führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Grundperiode eines einfachen fadenförmigen Luftgebildes entspricht einem Werte der Wellenlänge, welcher immer größer ist, als die vierfache Länge des Drahtes.

Das Verhältnis $\frac{\lambda}{4l}$, welches größer als 1 ist, verkleinert sich mit der Verlängerung des Drahtes und strebt der Einheit zu. So hat man z. B.

Luftdraht	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m
λ	131 m	170 m	210 m	249 m	286 m
$\frac{\lambda}{4l}$	1,09	1,06	1,05	1,04	1,02

Digitized by Google

2. Für einen Luftdraht von gegebener Länge strebt das Verhältnis $\frac{\lambda}{4l}$ gegen die Einheit zu, wenn sich der Durchmesser des Drahtes verringert.

3. Für mehrdrähtige Sendegebilde ist das Verhältnis $\frac{\lambda}{4l}$ bemerkenswert größer als 1. Es wächst mit der Anzahl und der Ausbreitung der Drähte. Für die gleiche Gesamtlänge von 42,5 m wurde gefunden:

1 Draht (d = 0,04 cm)	1 Draht (d = 0,35 cm)	4 Drähte	6 Drähte
$\frac{\lambda}{4l} = 1{,}03$	$\frac{\lambda}{4l} = 1{,}06$	$\frac{\lambda}{4l} = 1{,}19$	$\frac{\lambda}{4l} = 1{,}26$

4. Das Verhältnis $\frac{\lambda}{4l}$ ist von der Form des Verlaufes der Drähte sowie deren Neigung gegen die senkrechte beinahe vollständig unabhängig.

Unabhängig von der Grundschwingung entstehen in den Luftgebilden Schwingungen höherer Ordnung, welche den folgenden Gesetzen folgen:

1. Diese Schwingungen sind ungeraden Grades und in den drahtförmigen Luftgebilden fast genau so verteilt, wie die harmonischen Schwingungen geschlossener Röhren.

Es wurden beispielsweise in einem Luftdrahte von 60 m mit großer Bestimmtheit drei harmonische Schwingungen λ', λ'', λ''' nachgewiesen, deren Wellenlänge größer war als die der Grundwelle λ_1.

$$\left(\lambda_1 = 249 \text{ m}, \quad \frac{\lambda_1}{4l} = 1{,}04\right),$$

$$\frac{\lambda'}{\lambda_1} = 0{,}334, \quad \frac{\lambda''}{\lambda_1} = 0{.}205, \quad \frac{\lambda'''}{\lambda_1} = 0{,}048$$

Harmonische Serie 0,333, 0,200, 0,142

2. Diese Verhältnisse nähern sich umso mehr der harmonischen Serie, je länger die Luftdrähte sind. Man kann überdies eine viel größere Anzahl harmonischer Wellen nachweisen, je länger diese Drähte werden.

3. Die Intensität der harmonischen Schwingungen nimmt umsomehr ab, je höher sie in der Ordnung ansteigen, aber es scheint, daß die verhältnismäßige Wichtigkeit dieser Schwingungen umsomehr wächst, je länger die Drähte werden.

Digitized by Google

4. Die Oberschwingungen finden sich auch in den mehrdrähtigen Sendegebilden, aber das Gesetz ihrer Verteilung ist viel komplizierter und weicht von dem harmonischen Gesetze ab. Die Erscheinung kompliziert sich unter anderem noch dadurch, daß für die Herstellung der notwendigen Verbindungen massive Bestandteile eingefügt werden müssen.

Resonanz in der drahtlosen Telegraphie[1]). Von W. Pierce wurden Versuche angestellt, um die Resonanzbedingungen in den verschiedenen Kreisen der drahtlosen Telegraphie bei verschiedenen Längen der Luftleiter zu ermitteln. Die benutzten Stromkreise waren elektromagnetisch gekoppelt. Das Empfangsinstrument war ein Hochfrequenzdynamometer, in welchem eine Silberscheibe von 3 mm Durchmesser nahe einer kleinen Spule von 8 mm Durchmesser und ungefähr 30 Windungen feinen Drahtes aufgehängt war. Diese Spule wurde in Reihe mit dem Kondensatorkreis der Empfangsstation geschaltet. Die Scheibe befand sich in einem Winkel von 45° zur Ebene der Spule. Oszillierende Ströme in der Spule induzierten Ströme in der Scheibe, welche hierdurch so abgelenkt wurde, daß sie den Winkel zwischen Scheibe und Spule vergrößerte. Durch Entfernen oder Nähern der Spule von bezw. an die Scheibe ließ sich die Empfindlichkeit des Instrumentes innerhalb sehr weiter Grenzen verändern, so daß in einem einzigen Experimente Energiequantitäten im Verhältnisse von 1 zu 10000 verglichen werden konnten. Die Ablenkungen des Instrumentes waren dem Quadrate des Stromes in der Spule proportional. Mit zahlreichen lotrechten Leitern, welche 1 bis 8 Drähte enthielten und in der Länge von 4 bis zu 24 m geändert wurden, fand man, daß die Kapazität des Empfangsleiters unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung über die ganze Länge, zur Resonanzkapazität des Empfangskreises in einer Beziehung steht, welche sich annähernd durch eine hyperbolische Gleichung ausdrücken läßt.

Die Abstimmung thermoelektrischer Wellenanzeiger A. D. Cole[2]). Der Zweck dieser Arbeit war die günstigste Länge eines solchen Wellenanzeigers für eine gegebene Länge des angewendeten Erregers und die entsprechende Wellenlänge zu finden. Der Erreger war ein in der Weise abgeänderter Righioszillator, daß die zwei mittleren Funkenkugeln durch dünne Zylinder mit abgerundeten Enden ersetzt wurden. Die wirksamen Zylinder der beiden gebrauchten Er-

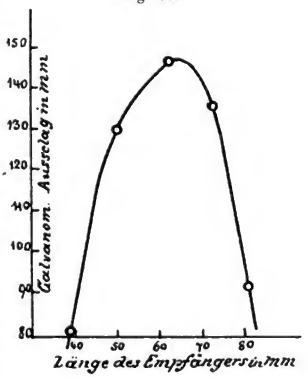
[1]) Physical Review, Februar 1905.
[2]) E. W. Bd. 45, S. 43.

Digitized by Google

reger hatten 3,5 mm Durchmesser und eine Länge von 25 mm für den einen und von 37 mm für den andern, so daß die Gesamtlänge 50 bezw. 74 mm betrug. Der Empfänger hatte gleichfalls Zylinder vom gleichen Durchmesser mit einer thermoelektrischen Verbindung aus feinen Eisen- und Konstantandrähten. Ihre Länge konnte schnell und ohne Störung mittels über die zylindrischen Enden gleitender Röhren aus dünnem Kupfer rasch geändert werden. Mit dieser Einrichtung wurden Ablenkungen bis zu 300 Skalenteilen eines Galvanometers von 5 Ohm Widerstand und sehr großer Empfindlichkeit erhalten.

Um die Einstellung zu erleichtern, wurde der Empfänger hinter eine Linse anstatt in den gebräuchlichen parabolischen Spiegel eingesetzt. Die Linse war eine mit Benzin gefüllte Zweiliterflasche. Ihr Konzentrationsvermögen war derart, daß mit ihr ein fünfmal größerer Ausschlag erzielt wurde, als ohne sie.

Fig. 75.



Die Empfängerlänge wurde in Stufen von 10 mm von 39 mm bis 81 mm abgeändert. Das Maximum der Wirkung wurde erreicht, wenn der Empfänger annähernd 20 v. H. länger war als der Erreger. In einem typischen Falle, in welchem der Sender 50 mm lang war, wurde das Maximum der Wirkung mit einem 62 mm langen Empfänger erreicht. Die Ablenkung wurde um 10 v. H. geringer, wenn Sender und Empfänger gleich lang waren (Fig. 75).

Die Wellenlängen wurden nach drei Interferenzmethoden gemessen, welche ziemlich gute Uebereinstimmung gaben und zwar erstens durch Reflexion von einem hinter dem Empfänger befindlichen Planspiegel, wie bei den Experimenten von Hertz, zweitens durch Reflexion von einem Planspiegel hinter dem Erreger und drittens nach der Boltzmann-Zweispiegelmethode. Nach der zweiten Methode ergaben sich für einen bestimmten Fall Maxima, wenn der Spiegel sich 14,0, 23,6 und 32,0 cm hinter dem Erreger befand und Minima auf Entfernungen von 9,0, 18,5, 28,0 und 37,5 cm. Die Intervalle betrugen demnach

Digitized by Google

9,6, 9,4, 9,5, 9,5, 9,5 oder im Mittel 9,5, was einer Wellenlänge von $\lambda = 19$ cm entspricht.

Die auf Grund solcher Messungen erhaltenen Interferenzkurven werden seitens verschiedener Forscher auch verschieden interpretiert. Hertz und Zehndner betrachten sie als das Maß der Wellenlänge, welche von dem Erreger ausgestrahlt werden. Sarazin und de la Rive, Klemmenčič und Czermak wiesen nach, daß die Ausmessungen des Empfängers die Form der Kurve bestimmen. Hull schließt, daß die Kurve von beiden, Sender und Empfänger, abhängig ist und Willard, wie auch Woodman kommen zu den gleichen Schlüssen. Die verschiedenen Ergebnisse, welche diese Beobachter erhalten haben, finden zweifellos teilweise in den verschiedenen Arten von Erregern und Empfängern, welche zur Verwendung gelangten, teilweise in der Art der gebrauchten Interferenz ihre Erklärung. Die mit den bei diesen Untersuchungen verwendeten Apparaten erhaltenen Ergebnisse zeigen klar, daß die gemessenen Wellenlängen die des Empfängers sind. So wurden bei einer gleichbleibenden Länge des Erregers von 74 mm und von 75 bezw. 83 mm des Empfängers die Wellenlängen $\lambda = 188$ und $\lambda = 220$ mm erhalten. Bei einer Länge des Erregers von 50 mm und einer solchen des Empfängers von 75 mm wurde $\lambda = 184$ mm bestimmt. Bei diesen Messungen befand sich der Planspiegel hinter dem Empfänger. Es zeigte sich jedoch, daß die ganz gleiche Form der Interferenzkurve erhalten wird, wenn sich der Planspiegel hinter dem Erreger befindet. Die aus diesen Untersuchungen gezogenen Schlüsse sind folgende:

1. Ist der Empfänger von der thermoelektrisch verbundenen Type und linearer Form, so zeigen die nach einer der drei Interferenzmethoden gefundenen Werte die Wellenlänge des Empfängers an.

2. Wird die Länge des Empfängers so lange geändert, bis für einen gegebenen Erreger ein ganz deutliches Maximum erhalten wird, so ist die Grundwelle beider Systeme von gleicher Länge und gibt dann die Messung der Wellenlänge nach einer der Interferenzmethoden auch gleichzeitig die Länge der Grundwelle des Erregers.

3. Das Verhältnis zwischen der gemessenen Wellenlänge und der Länge des Empfängers im Durchschnitte aus fünf Messungen ist gleich 2,52 und stimmt ganz gut mit dem von Mac Donald theoretisch ermittelten Verhältnisse 2,53 und nicht mit dem von Poincaré gegebenen Werte (2,0) überein.

Digitized by Google

E. Meßmethoden, Meßgeräte und Meßergebnisse.

Eine neue Methode zur Bestimmung von Dielektrizitätskonstanten[1]. Prof. Dr. Kalischer beobachtete schon im Jahre 1892, daß der Gang eines Induktors in einem von diesem so weit entfernten Raume, daß er unmittelbar nicht wahrgenommen werden konnte, sich durch ein Telephon bald abhören ließ und bald nicht. Es wurde nun gefunden, daß die Wirkung nur dann ausblieb, wenn an der Sekundärspule alles symmetrisch war. So war eine Wirkung nicht zu beobachten, wenn die Pole des Induktors unbelastet blieben. Wurde jedoch ein Stückchen Draht in eine der Elektroden so eingeklemmt, daß er frei in die Luft ragte, so trat sofort eine sehr deutliche Wirkung auf das Telephon ein, welche aber alsbald wieder verschwand, wenn ein gleiches Stück Draht mit der anderen Elektrode verbunden wurde. Das gleiche zeigt sich, wenn man den Induktor mit einem Erreger für Hertzsche Schwingungen in der Anordnung von Lecher verbindet. Sind dessen beide Teile symmetrisch angeordnet, so schweigt das Telephon, hängt man aber ein Stückchen Stanniol an den einen Draht des Erregers, so ertönt das Telephon. Diese Wirkung kompensiert sich aber sofort, wenn man an den zweiten Draht ein gleiches Stanniolstück hängt. Es ist also nicht notwendig, wie Mosler (siehe S. 219, Fig. 156) angibt, den Induktor einpolig zu erden, um eine Lautübertragung zu erhalten, sondern es genügt, die eine Klemme zu belasten, die andere dagegen unbelastet zu lassen. Allerdings wird das Ertönen erheblich stärker, wenn das eine Ende geerdet ist.

Es findet sich nun aus obigen Beobachtungen eine einfache und empfindliche Methode, die Dielektrizitätskonstanten zu bestimmen. Verbindet man den einen Pol der Sekundären mit dem zu untersuchenden Kondensator und kompensiert ihn durch einen mit dem anderen Pole verbundenen Luftkondensator, so wird bei völliger Gleichheit der Zuleitungen und der Kapazität der Kondensatoren das Telephon schweigen. Der Versuch läßt sich zur Kontrolle doppelt ausführen und zwar in der Weise, daß man einmal den Funken zwischen den Kugeln eines Entladers überspringen läßt und das andere Mal die Kugeln so weit auseinanderzieht, daß kein Funke überspringen kann.

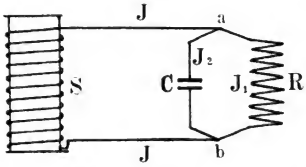
Neues Verfahren zur Bestimmung von Selbstinduktionskoeffizienten von Prof. W. Peukert[2]. Die zumeist an-

[1] E. T. Z. 1905, S. 680.
[2] E. T. Z 1905, S. 922.

Digitized by Google

gewendeten Verfahren zur Messung der Selbstinduktionskoeffizienten erfordern besondere Vorrichtungen, sind umständlich und zeitraubend und bedingen ein gewisses persönliches Geschick. Die verhältnismäßig einfache Art der Messung von Selbstinduktionskoeffizienten aus der Impedanz oder dem scheinbaren Widerstande der zu untersuchenden Spule ist nicht immer anwendbar, weil die Spulen, wenn deren Erwärmung nicht eintreten soll, häufig nicht eine so starke Strombelastung vertragen, um an deren Klemmen einen bequem meßbaren Spannungsunterschied zu erhalten.

Fig. 76.



Bei dem neuen Verfahren, welches in der Ausführung sehr einfach ist, sind keine besonderen Versuchsanordnungen erforderlich.

Das Verfahren beruht auf folgenden Grundlagen: Wirkt in einer Spule S vom Widerstande r (Fig. 76), an welche ein induktionsfreier Widerstand R und zu diesem parallel eine Kapazität C angeschlossen ist, eine irgendwie erzeugte und nach dem einfachen Sinusgesetze sich periodisch ändernde E.M.K. $e = E \sin \omega t$ ein, so wird die Spule von einem sinusartigen Strom

$$i = J \sin (\omega t - \varphi)$$

durchflossen, welcher gegen die E.M.K. eine Phasenverschiebung um den Betrag φ hat. ω bedeutet in diesem Falle

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi p,$$

wenn T die Dauer einer Periode und p die Zahl der Perioden darstellt. Der induktionsfreie Widerstand R gibt mit der parallel geschalteten Kapazität C einen Gesamtwiderstand für den Wechselstrom gleich

$$\frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}.$$

Der Spannungsunterschied zwischen den beiden Punkten a und b ist dann

$$\frac{J \cdot R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}.$$

Der Strom J teilt sich bei a und b in zwei Teile. Der Strom J_1.

Digitized by Google

welcher den induktionsfreien Widerstand durchfließt und sich mit der Spannung in gleicher Phase befindet, ist

$$J_1 = \frac{J}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}.$$

Der zweite Teilstrom, d. i. der Ladestrom des Kondensators, eilt der Spannung um 90° vor und ist

$$J_2 = \frac{J R \omega C}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

Die beiden Teilströme stehen senkrecht zueinander und entsprechen der Bedingung

$$J_1^2 + J_2^2 = J^2.$$

Es ist sodann der scheinbare Widerstand oder die Impedanz gleich

$$\sqrt{\left[r + \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}\right]^2 + \left[\omega L - \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}\right]^2}.$$

Der Strom J ist gegen die E.M.K. um den Phasenwinkel φ verzögert, dessen Größe bestimmt ist durch die Gleichung

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}}{r + \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}}.$$

Dieser Ausdruck, somit auch die Phasenverschiebung, wird Null, wenn der Zähler Null wird, also folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\omega L - \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} = 0$$

oder

$$L = \frac{R}{\omega \sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}}.$$

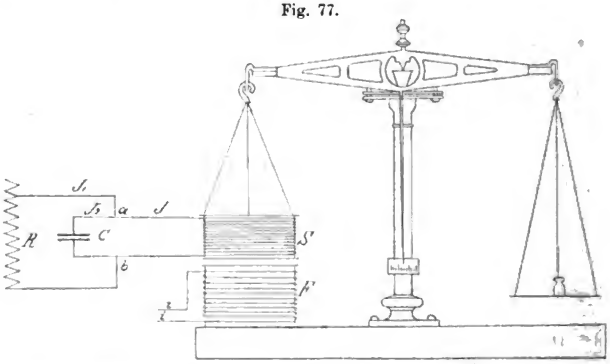
Es läßt sich sonach durch entsprechende Wahl von R und C die Phasenverschiebung zwischen Strom und E.M.K. aufheben. Sind nun diese Werte von R und C bekannt, so läßt sich dann, wenn ω gegeben ist, die Selbstinduktion L berechnen. Es ist also bei der beschriebenen Versuchsanordnung R und C oder auch nur eine dieser Größen so zu ändern, daß Phasengleichheit eintritt und dann L aus den so ermittelten Werten zu berechnen.

Digitized by Google

Die Erzeugung der E.M.K. in der Spule und die Ermittlung der Phasengleichheit läßt sich nun folgendermaßen durchführen.

Man befestigt die zu untersuchende Spule an einem Arme einer empfindlichen Wage und gleicht ihr Gewicht durch Gegengewichte vollständig aus (Fig. 77). Unter dieser Spule wird eine zweite Spule angeordnet, durch welche Wechselstrom von irgend einer Wechselstromquelle gesendet wird. Zur Verstärkung der Wirkung dieser Spule kann auch in diese ein passend unterteilter Eisenkern eingesetzt werden. Der Stromkreis der beweglichen Spule wird durch einen induktionsfreien Widerstand R und eine zu diesem parallel geschaltete Kapazität C geschlossen. Es tritt nun zwischen diesen beiden Spulen eine elektro-

Fig. 77.



induktive Wirkung ein, die obere Spule wird abgestoßen und das Gleichgewicht der Wage gestört. Die in der beweglichen Spule induzierte E.M.K. ist um 90° gegen den induzierenden Strom in der Phase verschoben. Diese E.M.K. induziert nun wieder einen Strom mit einer Phasenverschiebung von 90° und ist sohin der induzierte Strom gegen den induzierenden Strom in der Phase um eine halbe Periode verschoben, was eine Abstoßung der beiden Ströme bedingt. Aendert man nun den Widerstand R und die Kapazität C so lange, bis keine Abstoßung der oberen Spule mehr erfolgt, die Wage sonach in den Gleichgewichtszustand zurückkehrt und in diesem verbleibt, so muß die Phasenverschiebung zwischen induzierter E.M.K. und induziertem Strom gleich Null geworden sein und ist in diesem Falle der induzierte Strom gegen den induzierenden um 90° verschoben. Während

Digitized by Google

der eine Strom von Null bis zum Höchstwerte ansteigt, sinkt der andere Strom vom Höchstwert bis Null herab. Dieser Synchronismus der beiden Spulen bleibt dauernd aufrecht, so daß eine Abstoßung der oberen Spule nicht mehr erfolgen kann, die Spule sonach in Ruhe bleibt. Die Selbstinduktion, welche die Phasenverschiebung und damit auch die Abstoßung bewirkt, ist in diesem Falle durch die Kondensatorwirkung oder, was das gleiche besagt, die Selbstinduktionsspannung durch die Kondensatorspannung aufgehoben worden. Man hat hiermit sonach ein einfaches Mittel, das Verschwinden der Phasenverschiebung zwischen E.M.K. und Strom des beweglichen Solenoides zu erkennen. Sowie dieser Zustand erreicht ist, läßt sich der Selbstinduktionskoeffizient L der Spule aus der gegebenen Formel berechnen. Ist die Wurzelgröße des Nenners in der gegebenen Formel $\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}$ nicht wesentlich von der Einheit verschieden, so ist ein angenäherter Wert für den Selbstinduktionskoeffizienten schon durch die einfache Beziehung $L = \frac{R}{\omega}$ gegeben.

Bei der Ausführung des Versuches wählt man eine passende Kapazität und ändert den Widerstand R so lange, bis die Abstoßung verschwindet. Es läßt sich aber auch umgekehrt bei unverändertem Widerstande die Kapazität so lange ändern, bis die Wage wieder in das Gleichgewicht kommt. Dieser Vorgang ist jedoch nur dann zu empfehlen, wenn eine Kapazität zur Verfügung steht, die ganz allmähliche Aenderungen gestattet. Am zweckmäßigsten ist es jedoch, die grobe Abgleichung mittels der Kapazität und die feine Abgleichung mittels des Widerstandes vorzunehmen. Bei hinreichender Empfindlichkeit der Wage läßt sich die Abgleichung sehr scharf durchführen. Es ist jedoch sehr darauf zu achten, daß die Zuführungsdrähte die Beweglichkeit der Wage in keiner Weise behindern. Der Widerstand ist so zu wählen, daß der Strom nicht so stark wird, um eine Erwärmung der Spule herbeizuführen. Die Stärke des induzierenden Wechselstromes ist ebenfalls so zu wählen, daß die feste Spule nicht erwärmt wird, um die Angabe der Wage nicht durch warme Luftströmungen zu beeinflussen.

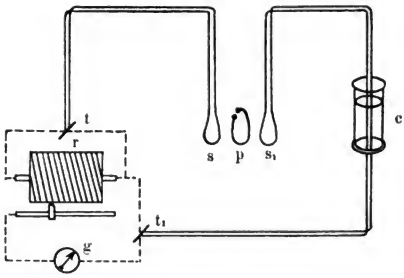
Dieses Verfahren erfordert keine besondere Versuchseinrichtung, ist einfach in der Ausführung und auch hinreichend empfindlich, da nach erzielter Abgleichung eine geringe Widerstandsänderung (0,1 Ohm) schon einen beträchtlichen Ausschlag an der Wage bedingt. Ausgeführte Messungen bestätigten vollkommen die Richtigkeit der Voraussetzungen.

Digitized by Google

Die Verwendung des elektrolytischen Wellenanzeigers in der Brückenmethode[1]). W. Nernst hat bereits 1897 nachgewiesen, daß sich mit sehr schnellen Schwingungen verhältnismäßig genaue Messungen durchführen lassen, wenn man in der Brückenkombination eine mikrometrisch verstellbare Funkenstrecke oder eine kleine Vakuumröhre verwendet. Frühere Versuche, an deren Stelle einen Fritter zu benutzen, mißlangen, weil dessen Empfindlichkeit für Meßzwecke zu veränderlich ist.

W. Nernst und F. v. Lerch zeigen nun jetzt, daß der elektrolytische Wellenanzeiger von Schloemilch sich für diese Zwecke sehr

Fig. 78.



gut eignet und die Wiederverwendung des Telephones als Nullinstrument ermöglicht. Mit der von diesen geschaffenen Versuchsanordnung wurde die Brauchbarkeit des Apparates für Widerstandsmessungen von Flüssigkeiten nachgewiesen.

Messung der Absorption elektrischer Wellen[2]). Die Bestimmung der Absorption elektrischer Wellen durch Flüssigkeiten beruht auf Intensitätsmessungen und kann, da die Korrosion der Funkenpole die Erzeugung elektrischer Wellen von gleichbleibender Intensität durch längere Zeit unmöglich macht, nur eine Nullmethode über die Schwierigkeiten der Messungen hinweghelfen. Otto Berg hat nun eine solche Methode gefunden, bei welcher er sich der Anordnung in Fig. 78 bedient.

Einem Primärerreger nach Blondlot p steht beiderseitig je ein Sekundärerreger $s s_1$ gegenüber. Die von dem einen Sekundärerreger

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 15, S. 836.
[2]) Ann. d. Ph. Bd. 15, S. 307.

Digitized by Google

abgehenden parallelen Drähte gehen durch eine Schicht c der zu untersuchenden Flüssigkeit und endigen dann in ein Thermoelement t_1 nach Klemenčič. Die Paralleldrähte des zweiten Sekundärerregers, welche sonst frei verlaufen, endigen gleichfalls in ein Thermoelement t. Die elektromotorische Kraft des Thermoelementes t wird nun nach der Kompensationsmethode mittels Brückenwalze und Galvanometer mit der des Thermoelementes t' verglichen. Dieser Vergleich der E.M.K der beiden Thermoelemente erfolgt nun für verschiedene Schichtdicken der Flüssigkeit. Die E.M.K. der Thermoelemente ist bei den hier in Betracht kommenden Temperaturunterschieden der in der Zeiteinheit durch die Wellen zugeführten Energie proportional.

Bestimmt man nun für eine Reihe von Schichtdicken der gleichen Flüssigkeit die Verhältnisse der E.M.K. beider Thermoelemente und stellt die gewonnenen Ergebnisse durch eine Kurve dar, für welche die Schichtdicken als Abszissen, die Verhältnisse als Ordinaten aufgetragen werden, so läßt sich der Absorptionskoeffizient x aus der Formel

$$x = \frac{1}{(n_1 - n_2)\,\pi} \log \text{nat} \frac{y_1}{y_2}$$

berechnen, worin n_1 und n_2 zwei aufeinanderfolgende Schichtdicken und y_1 und y_2 die zugehörigen Ordinaten sind. Die Brauchbarkeit dieser Methode wurde von Berg an zwei Chlorkaliumlösungen verschiedener Konzentration erprobt.

Untersuchungen von P. Drude über die Eichung von Wellenmessern[1]). Bei zweien von den drei bisher angewendeten Formen der Wellen- oder besser gesagt Frequenzmessern, da diese Instrumente tatsächlich nur die Schwingungsperiode oder Frequenz unmittelbar bestimmen, wird in einer geschlossenen Drahtleitung, die Kapazität und Selbstinduktion enthält, die Resonanz dadurch hergestellt, daß man eine dieser beiden Größen meßbar abändert. Bei der dritten Form, dem Slabyschen Multiplikationsstabe, wird Resonanz mit einer Spule veränderlicher Länge hergestellt. Bei den beiden ersten Formen dieser Wellenmesser ließe sich allenfalls eine Eichung entbehren, da sich Kapazität und Selbstinduktion so herstellen lassen, um ihre Werte berechnen oder mit langsameren Wechselströmen messen zu können. Doch führt auch hier eine direkte Eichung sicherer zum Ziele. Beim Multiplikationsstabe ist aber eine direkte Eichung nicht zu umgehen, wenn man nicht an einer genau bestimmten Herstellung der Spulen festhält, was jedoch vielfach unpraktisch zu sein scheint.

[1]) E. T. Z. 1905, S. 339.

Digitized by Google

Der Multiplikationsstab ist in der Handhabung äußerst bequem und gibt für die Praxis der drahtlosen Telegraphie hinreichend genaue Resultate.

Untersuchungen von drei dieser Multiplikationsstäbe zeigten jedoch, daß die an diesen angebrachte Eichung nicht innerhalb der Meßgenauigkeit mit den durch die Kontrollmessung erhaltenen Ergebnissen übereinstimmt. Es findet dies seine Begründung darin, daß Slaby die Eichung an geradlinig ausgespannten Erregern vornahm, von der Voraussetzung ausgehend, daß die halbe Eigenwellenlänge eines solchen Erregers gleich seiner Gesamtlänge sei. Diese Methode ist, abgesehen von der großen Unbequemlichkeit für lange Wellen von 100 m und darüber, auch theoretisch nicht einwandfrei, da ein einzelner gerader Draht durch den Einfluß von benachbarten Leitern und Isolatoren, insbesondere aber der Erde und des Körpers des Beobachters eine halbe Wellenlänge ergibt, welche je nach zufälligen Umständen um 4 v. H. bis 8 v. H. größer als die Drahtlänge ist. Auch läßt sich in einem geradlinigen Erreger eine gut ausgebildete Schwingung viel schwieriger erzeugen, als in einem größere Kapazität und geringere Selbstinduktion enthaltenden Kondensatorkreise.

Der von Slaby benutzte, parallel zur Erde ausgespannte Einzeldraht ist, selbst wenn der Boden mit einem Metallbelag versehen wird, ein schlecht definiertes System für elektrische Schwingungen, denn die von einem solchen Drahte ausgehenden elektrischen Kraftlinien suchen den nächstliegenden Leiter zu laden und wechselt daher die Kapazität dieses Drahtes je nach der Stellung des Beobachters oder anderer Leiter bezw. Dielektra. Die Lecherschen Paralleldrähte, bei welchen in gegenüberliegenden Punkten die Stromrichtung und Spannung in jedem Zeitmoment einander entgegengesetzte Werte haben, sind deshalb für Präzisionsmessungen der Wellenlänge dem Einzeldrahte überlegen.

Diese Paralleldrähte wurden von Drude schon seit Jahren zur Eichung eines Wellenerregers oder Wellenmessers benutzt. Die von ihm angewendeten Methoden lassen sich nun auch für eine exakte Messung jener langen Wellen, wie solche in der Praxis der drahtlosen Telegraphie nutzbar gemacht werden, gebrauchen.

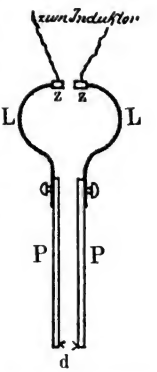
A. Direktes Verfahren. In einem Petroleumbade befinden sich die zwei Platten P P (Fig. 79) eines Kondensators, bestehend aus quadratischem Aluminiumbleche von 2 mm Dicke und 18 cm Seitenlänge. Die eine dieser Platten ist an einem Stativ starr befestigt, die andere hingegen mittels Mikrometerschraube gegen die erstere bis auf

Digitized by Google

4 cm verschiebbar. Der Abstand d der beiden Platten läßt sich bis auf $^1/_{100}$ mm genau und unmittelbar ablesen.

An die beiden oberen Enden dieser Platten wird die aus zwei symmetrischen Drahtstücken L L bestehende Selbstinduktion der Erregerleitung angeschraubt, die im Bedarfsfalle auch aus mehreren Windungen bestehen kann. An deren Ende ist je ein Zinkstückchen Z angelötet, zwischen welchen die Entladung stattfindet. Die Zinkstücke ergeben, ohne daß man sie zu putzen braucht, eine sehr geringe Dämpfung. Von diesen Zinkstückchen führen dünne Drähte zu einem nicht zu starken Induktor. Zur Veränderung der Funkenlänge zwischen z z werden entweder die Drahtstücke L L an zwei beweglichen Isolierstativen angekittet, oder es wird die Speiseleitung des Induktors an einer mikrometrisch verstellbaren Ebonitgabel befestigt und werden sodann deren Enden durch zwei Löcher in den Zinkstücken gesteckt, so daß L L einerseits an die Gabel und anderseits an den beiden Aluminiumplatten befestigt ist.

Fig. 79.



Die in diesem Kreise zu erregenden Wellenlängen lassen sich unter Beibehaltung des einen Kondensators einesteils durch Anwendung verschiedener Selbstinduktionen, andernteils durch Aenderung des Abstandes d innerhalb sehr weiter Grenzen ändern. Werden beispielsweise als Selbstinduktionen zwei Halbkreise aus 1 mm dicken, 1 cm breiten Kupferstreifen verwendet, so wird $\lambda = 6$ m für $d = 7$ mm. Besteht hingegen die gesamte Selbstinduktion aus 19 Windungen von 20 cm Durchmesser, so erhält man für $d = 1{,}7$ mm eine Wellenlänge $\lambda = 320$ m.

Zur feinen Veränderung der Wellenlängen wird der Abstand d der Kondensatorplatten mittels der Mikrometerschraube entsprechend geregelt.

Für die Einstellung auf eine bestimmte Wellenlänge werden etwa 2 cm über dem Erreger L L zwei Drähte D D (Fig. 80) von $^1/_2$ oder 1 mm Dicke schraff so ausgespannt, daß sie an allen Punkten einen gleichen Abstand a haben. Dieser Abstand beträgt für kürzere Drähte bis zu 8 m Länge etwa 3 cm und für längere Drähte zwischen 5 und 10 cm. Bis $\lambda = 16$ spannt man zwei 8 m lange Drähte D D mit ihren Enden an zwei Stelltischen mittels hölzerner Klemmschrauben fest und überbrückt sie durch zwei Metallbügel B B an ihren Enden,

Digitized by Google

so daß diese Drähte zwischen diesen Bügeln frei in der Luft verlaufen. Die Erregerleitung wird etwa 2 cm unter den Drähten D D im Zwischenraume der beiden Brücken und zwar möglichst nahe einer der Brücken angebracht. In die Mitte zwischen B B wird nun eine mit verdünnter Luft oder besser noch mit Helium gefüllte Glasröhre gebracht und der Schwingungskreis erregt. Sodann wird der Abstand d der Kondensatorplatten P P so lange verändert, bis die Röhre hell aufleuchtet. Die Beobachtung hat im verdunkelten Raume zu geschehen. Die Einstellung von d hat sehr scharf zu erfolgen. Der Abstand d bezeichnet jene Stellung der Kondensatorplatten, bei welcher der erregende Schwingungskreis in Resonanz mit den Paralleldrähten steht. Die Kopplung zwischen diesen und dem Erreger ist durch die von letzterem ausgehenden, den Raum durchsetzenden magnetischen Kraftlinien eine magnetische. Sie ist bei geringer Ausdehnung von L L zwar sehr

Fig. 80.

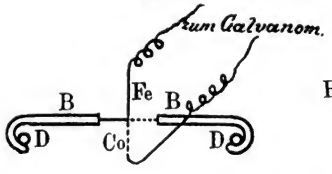
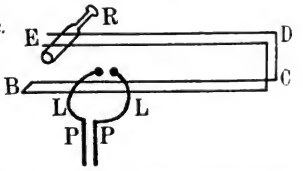


Fig. 81.



schwach, reicht aber vollständig aus, um die Röhren zum intensiven Aufleuchten zu bringen. Durch diese schwache Kopplung wird aber die Einstellung auf Resonanz wieder eine sehr scharfe. Der Abstand der beiden Brücken B B mehr der Brückenlänge ist gleich der halben Wellenlänge. Durch Verschieben einer der beiden Brücken lassen sich im Erreger verschiedene genau bestimmte Wellenlängen feststellen. Theoretisch bedarf die Wellenlänge wegen der Kapazitätsvermehrung durch die aufgelegte Glasröhre einer kleinen Korrektion, doch liegt der Fehler für $\lambda > 6$ m unter 1 v. H. und ist daher praktisch vernachlässigbar.

Ist auf diese Weise die Wellenlänge im Erregerkreise bestimmt, so wird der zu eichende Wellenmesser unter genauer Einhaltung des vorher bestimmten Abstandes d der beiden Platten P P mit diesem Kreise in Resonanz gebracht. Bei Eintreten der Resonanz muß der Wellenmesser genau in der gleichen Wellenlänge schwingen, wie der Erregerkreis und ist demnach die Angabe des Wellenmessers auf absolute Werte von λ reduziert.

Dieses Verfahren eignet sich nur gut für Wellenlängen bis zu

Digitized by Google

16 m, für größere Wellenlängen wird es aber unpraktisch, da die Räumlichkeiten zumeist zu klein sind und die Vakuumröhre vom Beobachter beim Einstellen der Platten P P zu weit entfernt ist. Die Eigenwelle eines Paralleldrahtes ändert sich aber nicht, wenn er an einer oder mehreren Stellen rechtwinklig abgebogen wird. Auch läßt sich die Länge der Drahtleitung auf die Hälfte herabmindern, wenn man die Drähte nicht an beiden, sondern nur an einem Ende metallisch verbindet. Die Eigenwellenlänge eines solchen Drahtsystemes ist gleich der doppelten Länge der ganzen Drahtleitung. Für Eichung größerer Wellenlängen wird der Draht daher in die in Fig. 81 dargestellte Form B C D E gebracht. Am freien Ende E wird die Vakuumröhre R über die Drähte gelegt. Ihr Leuchten läßt sich leicht beobachten, da sie sich in der Nähe des am Erreger L L P P stehenden Beobachters befindet. Die Drähte können auf diese Weise viel länger gemacht werden. Die Drähte sind hierbei möglichst im freien Raume zu führen und ist darauf zu achten, daß sie stets einen gleichen Abstand voneinander haben, weil sonst die halbe Wellenlänge nicht mehr gleich der Länge der ganzen Drahtleitung ist, und leicht Fehler bis zu 4 v. H. entstehen können.

B. Indirektes Verfahren. Für Eichung längerer Wellen erweist sich dieses Verfahren jedoch als wenig bequem, insbesondere wenn viele verschiedene Zwischenpunkte eines Wellenmessers festgestellt werden sollen, da dann immer Leitungen von verschiedener Länge benutzt werden müssen. Hier eignet sich das indirekte Verfahren insbesondere mit Bezug auf die in der Praxis gebräuchlichen großen Wellenlängen viel besser.

Ueber den Wellenerreger wird als Resonanzleitung ein Drahtsystem von zwei parallelen Drähten mit dem gegenseitigen Abstande a gespannt. Diese sind an dem einen Ende durch eine verschiebbare Brücke und am anderen Ende durch einen Kondensator verbunden. Wird die Drahtlänge zwischen Kondensator und Brücke mit b, der gegenseitige Drahtabstand mit a und der Drahthalbmesser mit ρ bezeichnet, so ist die Selbstinduktion des Systemes

$$L = 4\,(a+b)\left[\ln\frac{a}{\rho} - 1{,}31\,\frac{a}{b} + 1{,}06\left(\frac{a}{b}\right)^2\right] \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Ist C die elektrostatisch gemessene Kapazität des Kondensators, so ergibt sich die Eigenwelle des Systemes aus

$$\lambda = 2\pi\sqrt{LC} + \frac{\pi}{3}\,\frac{b^2}{\sqrt{CL}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Digitized by Google

wobei vorausgesetzt ist, daß das zweite Glied dieser Formel nur einige Prozente des ersten Gliedes ausmacht. Der Kondensator besteht zweckmäßig aus zwei Aluminiumplatten von 2 mm Dicke, die einen Luftabstand von 1 mm haben und durch Ebonitschrauben miteinander verbunden sind. An die Platten ist je ein Kupferdraht befestigt, der in eine Oese an dem einen Ende der Paralleldrahtleitung einpaßt, so daß der Kondensator an die Paralleldrähte angehängt werden kann und einen guten Kontakt mit diesen Drähten hat.

Die Kapazität C des Kondensators wird, wenn die Platten gut eben geschliffen sind, berechnet oder durch Paralleldrahtleitung nach dem beschriebenen direkten Verfahren in folgender Weise bestimmt. Der Wellenerreger wird auf eine bereits bekannte Wellenlänge eingestellt. Dann wird in das eine Ende der vorher überbrückten Paralleldrähte der Kondensator eingehängt und ein Bügel mit der Hand so lange verschoben, bis sich der sekundäre mit dem Erregerkreis in voller Resonanz befindet, sohin auch die gleiche Wellenlänge besitzt. Das Auftreten der Resonanz wird an einer kleinen Hilfsfunkenstrecke oder besser noch an einer Heliumröhre erkannt. Die Kapazität des Kondensators berechnet sich dann aus der Formel

$$C = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 L} - \frac{b^2}{3L}. \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Ist C so ermittelt, so läßt sich die Brücke leicht auf verschiedene Längen von b einstellen und die zugehörige Wellenlänge nach (2) ausrechnen. Der Erreger wird nun auf diese Wellenlänge in Resonanz gebracht. Hierauf nimmt man die Paralleldrähte weg und bringt den zu eichenden Wellenmesser mit dem Erregerkreise, dessen Wellenlänge nunmehr bekannt ist, in Resonanz.

Bei Anwendung eines Kondensators von 20 cm Durchmesser der Platten und 1 mm Abstand kann man b gleich 7 m wählen und wird dann $\lambda = 110$ m. Es beträgt in diesem Falle das zweite Glied der Formel (2) immer erst noch 3 v. H. des ersten Gliedes und könnte daher b noch größer sein, ohne daß diese Formel versagt.

Je größer b ist, desto besser spricht die an den Kondensator gelegte Röhre an. Ist die Röhre nicht zum Leuchten zu bringen, so ist b im Verhältnisse zu C zu klein. Es ist sodann ein kleineres C und dementsprechend ein größeres b zu nehmen und wird dann die Röhre sicher leuchten, wenn die elektromagnetische Kopplung zwischen Erreger und den Paralleldrähten nicht zu schwach ist. Mit

$$b > {}^1\!/_3\, C$$

Digitized by Google

läßt sich das Leuchten der Röhre sicher erzielen. Mit $b = 7$ m und $C = 21$ cm läßt sich aber schon $\lambda = 300$ m erreichen. Die Kapazität $C = 21$ cm läßt sich durch Verschraubung mehrerer Platten auf vier Ebonitscheiben und durch Parallelschaltung der zwischen den Platten gebildeten Kapazitäten durch übergreifende Metallbügel erhalten. Will man mit kürzerem b bei großem C arbeiten, so kann man in den verschiebbaren Bügel ein aus 0,1 mm dickem Eisen- und Konstantandraht gebildetes, etwa 1 cm langes Thermoelement Fe — Co einfügen und dessen Enden (Fig. 80) zu einem Galvanometer von kleinerem inneren Widerstande führen. Der Maximalausschlag zeigt dann das Bestehen der Resonanz zwischen Erreger und Parallelleitung an. Man arbeitet aber mit Leuchtwirkungen viel schneller als mit Thermoströmen.

Die auf diese Weise durchgeführten Kontrollmessungen an drei Multiplikationsstäben von Slaby zeigten, daß die wirklichen Wellenlängen immer etwas größer sind, als die nach der Slabyschen Eichmethode gefundenen, was eben mit der Tatsache zusammenhängt, daß die Eigenwellenlänge eines geradlinigen Erregers etwas größer ist als die doppelte Erregerlänge, während Slaby annimmt, daß $\lambda = 2l$ ist.

Bei diesen Messungen wurde magnetische Kopplung mit dem Erreger angewendet und war daher eine Kapazitätsvermehrung des freien Stabendes durch angenäherte Leiter vollständig vermieden. Die Erregung wurde nur so stark gewählt, daß die am Stabende auftretenden Lichtbüschel sehr klein waren, weil der Stab bei starker Erregung kleinere Angaben für die gleiche Wellenlänge ergibt, indem sich dann der Stromknoten nicht streng am Stabende, sondern etwas außerhalb bildet.

Bei der elektrischen Kopplung zeigten die Stäbe noch kleinere Angaben als bei der magnetischen, was daher rührte, daß die Paralleldrähte mit dem Erreger zu schwach gekoppelt waren. Es mußte daher der Stab, um Büschelbildung zu erreichen, diesen Drähten zu sehr genähert werden, wodurch Kapazitätsvermehrung am freien Stabende auftrat. Bei stärkeren elektrischen Feldern wurde jedoch Uebereinstimmung der Angaben der Stäbe für die elektrische und magnetische Kopplung gefunden.

Es ist hier zu erwähnen, daß De Forest und Dr. Jves die Eichung des von ihnen geschaffenen Wellenmessers, wie dies aus den F. d. T. III, S. 149 zu entnehmen ist, gleichfalls an Lecherdrähten, jedoch in etwas anderer Weise durchgeführt haben.

Digitized by Google

Untersuchungen über den Slabyschen Multiplikationsstab zum Messen der Wellenlängen[1]). Ueber diese in der Physikal.-Techn. Reichsanstalt durchgeführten Untersuchungen wird von E. Gehrcke folgendes berichtet. Die Messung der Wellenlängen hat durch die Frage der Abstimmung der funkentelegraphischen Stationen eine erhöhte Bedeutung gewonnen. Es handelte sich nun für die erwähnte Anstalt in erster Linie darum, ein Gebrauchsnormale von Schwingungskreisen zu schaffen, mit denen andere zu eichende Schwingungskreise verglichen werden können. Als Grundlagen für die Messung der Wellenlängen hatten dabei die elektrischen Wellen an geraden Drähten zu dienen, da diese genau und in prinzipiell einfacher Weise meßbar sind.

Alle bisher bekannten Wellenmesser, wie der Drudesche Schwingungskreis[2]), die Wellenmesser von Graf Arco[3]), Dönitz[4]), Ives[5]) und der Multiplikationsstab von Slaby[6]) beruhen auf dem Resonanzprinzip, wobei ein Schwingungssystem von bekannter, beliebig veränderlicher Eigenperiode mit dem zu messenden Schwingungssysteme in Resonanz gebracht wird. Es ergibt sodann die Einstellung auf das Resonanzmaximum des ersten Systemes, die Größe der von dem zweiten System entsendeten Wellenlänge.

Unter diesen Wellenmessern zeichnet sich der Multiplikationsstab sowohl durch die Einfachheit der Konstruktion als die Bequemlichkeit der Handhabung aus und läßt diesen vor allem geeignet erscheinen, als Gebrauchsnormal für die Eichung anderer Wellenmesser zu dienen. Es erscheint nämlich jedenfalls viel vorteilhafter, eine einfache Drahtspule als einen ganzen Schwingungskreis mit Oelkondensator aufzubewahren und zwar dies umso mehr, als die zeitlichen Aenderungen einer festen Spule bei guter Behandlung geringer sein müssen, als die eines komplizierten Schwingungskreises.

Da die Drahtwellen an einem gerade ausgespannten Drahte, wie dies Drude schon hervorhob, durch die Umgebung erheblich beeinflußt werden können, wogegen das den Lecherschen Doppeldrähten nicht anhaftet, indem hier das elektrische Kraftfeld wesentlich in dem Raum in nächster Nähe des Kraftfeldes konzentriert ist, wurden

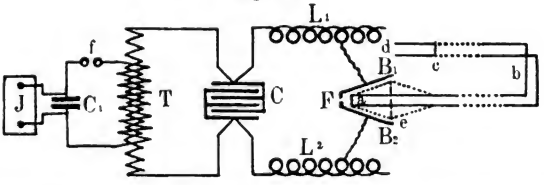
[1]) E. T. Z. 1905, S. 697.
[2]) F. d. T. III. S. 147.
[3]) F. d. T. II, S. 38.
[4]) F. d. T. II, S. 43.
[5]) F. d. T. III, S. 149.
[6]) F. d. T. II, S. 57.

Digitized by Google

für die Eichung der Stäbe nur die Lecherschen Doppeldrähte verwendet.

Es wurde hierfür im allgemeinen die in Fig. 82 dargestellte Anordnung benutzt. Zur Erregung des Schwingungskreises diente ein Induktor J von 25 cm Schlagweite, der entweder mit unterbrochenem Gleichstrom oder für lange Wellen mit Wechselstrom von 50 Perioden in der Sekunde betrieben wurde. Der Schwingungskreis bestand aus Leydenerflaschen, einer Drahtspule und einer Zinkfunkenstrecke. Es wurden je nach der Größe der Wellenlänge 1 bis 4 Flaschen von je 600 bis 1000 qcm Oberfläche der Belegungen benutzt. Die Spule bestand aus 6 Windungen, war auf einen Glaszylinder von 14 cm Durchmesser gewickelt und bildete die Primäre eines Teslatransformators T, dessen Sekundäre aus 100 Windungen besponnenen Kupferdrahtes bestand, die auf einen Holzkern von 11 cm Durchmesser auf-

Fig. 82.



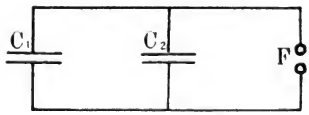
gewickelt waren. Dieser Teslatransformator lud die Kapazität C auf, die mit den Selbstinduktionen L_1 und L_2 und der Funkenstrecke F zu einem neuen Schwingungskreis geschlossen war, welcher den eigentlichen primären Erreger der zu messenden Hertzschen Wellen bildete. C bestand je nach der Wellenlänge aus 2, 4 oder 6 Zinkplatten von 1 m Durchmesser oder auch aus zwei kleineren Zinkplatten von 40, 20 und 10 cm Durchmesser und waren die Platten in Luft durch zwischengestellte Porzellanisolatoren von 2,5 cm, 4 cm und 7,5 cm Höhe in dem gewünschten Abstande gehalten. Die Selbstinduktionen bestanden aus zwei senkrechten isolierten Spulen von je 30 Windungen 3,5 mm dicken Kupferdrahtes mit 17 cm Windungsdurchmesser und 3,3 cm Windungsabstand, zu welchen noch zwei kleinere, sonst ganz gleiche Spulen von je 10 Windungen zugeschaltet werden konnten. Die Funkenstrecke wurde von zwei Kupferbügeln B_1 und B_2 von je 65 cm Länge und der angedeuteten Gestalt gebildet und endigte bei F in zwei Messingkugeln, die in Petroleum tauchten. Alle Verbindungen des Schwingungskreises $C L_1 F L_2$ waren aus Kupferbändern von 1 cm

Digitized by Google

Breite gebildet. Durch Veränderung der Kapazität C und der Selbstinduktionen $L_1 L_2$ konnten Wellenlängen von $\lambda = 5$ bis 520 m erzeugt werden.

Mit einem solchen Schwingungskreise erhält man im allgemeinen nicht eine einzelne Wellenlänge λ, sondern zwei solche λ_1 und λ_2. Die einfachen Voraussetzungen der gewöhnlichen Theorie des Thomsonschen Schwingungskreises werden hier nämlich nicht erfüllt, da die beträchtlichen Kupfermassen der Selbstinduktionen $L_1 L_2$ eine über einen Teil der Leitung verteilte Kapazität darstellen, die neben C nicht zu vernachlässigen ist. Dies hat nun zur Folge, daß außer der in C vor sich gehenden Schwingung des elektrostatischen Feldes noch eine zweite Schwingung zu stande kommt, deren elektrostatisches Feld zwischen den Spulen L_1 und L_2 liegt.

Fig. 83.



Tatsächlich wurden bei den Messungen für jede Einstellung zwei Wellen gefunden, deren Längen erheblich voneinander unterschieden sind. Es ist dies ganz so, als wenn man (Fig. 83) zwei Kapazitäten parallel zu einem durch eine Funkenstrecke gebildeten Schwingungskreis schaltet, da auch hier zwei Wellen λ_1 und λ_2 entstehen, die nahezu den beiden Schwingungen entsprechen, die jeder Kondensator für sich erzeugt.

Die Messung der vom Schwingungskreis $C L_1 F L_2$ ausgesendeten Wellen geschah in der Weise, daß eine Doppeldrahtschleife a b c d durch magnetische Kopplung erregt wurde, da dann die Länge der Drähte unmittelbar die halbe Wellenlänge ergibt. Die Kopplung des Endes a war so schwach, daß keine Rückwirkung auf den Primärkreis zu bemerken war. Es ist dies nach Drude[1]) daran zu erkennen, daß bei weitester Veränderung der Kopplungsstärke keine Veränderung der Wellenlänge bemerkbar wird. Für die längeren Wellen wurde die Kopplung zwischen Drahtschleife und den Bügeln $B_1 B_2$ durch Zwischenklemmung einer Ebonitscheibe von 10 oder eines Glasrohres von 20 cm Dicke zwischen die beiden Drähte verstärkt. Letztere bildeten dann (Fig. 82 punktiert) einen Rhombus von etwa 2 m Länge und es war somit eine Annäherung der parallelen Drähte und sohin auch eine verstärkte Kopplung erreicht.

Diese Drahtleitung wurde durch eine verschiebbare Brücke c mit

[1]) Ann. d. Ph. Bd. 9, S. 298.

Digitized by Google

dem Primärkreise in Resonanz gebracht und das Maximum der Resonanz durch das Leuchten einer elektrodenlosen Geislerröhre erkannt. Röhren, mit elektrolytischem Natrium und verdünntem Stickstoff gefüllt, erwiesen sich hierbei viel empfindlicher als Heliumröhren.

Die Doppeldrähte bestanden aus 1 mm Kupferdraht und hatten einen gegenseitigen Abstand von 2,5 cm, der durch übergesetzte Ebonitplättchen in Abständen von etwa 15 m innegehalten wurde. Die Drähte wurden im Garten 2 m über dem Boden schraff ausgespannt und ruhten auf 10 Glasstützen. Die Gesamtlänge a b d betrug 285 m und konnten sohin halbe Wellenlängen bis zu dieser Länge abgegriffen werden. Das Verschieben der Brücke wurde wegen der großen Länge von einem Gehilfen besorgt, mit welchem sich durch Pfeifen- und Laternensignale verständigt wurde. Die Versuche wurden in der Dunkelheit ausgeführt.

Mit dem Schwingungskreise $C L_1 F L_2$ wurden dann außer der Drahtschleife auch die Slabyschen Stäbe in der bekannten Weise in Resonanz gebracht, wobei die Kopplung zwischen einem Stabe und irgend einem Leiterteil des Schwingungskreises entweder eine magnetische oder eine elektrische war. Hierbei wurde beachtet, daß die Stäbe wegen der Kapazitätswirkung von benachbarten Leitern in ausreichender Entfernung von solchen gehalten werden mußten.

Vor Eichungsvornahme wurden mit einer der beschriebenen völlig gleichen Anlage orientierende Versuche an kurzen Wellen angestellt und zwar 1. der Einfluß benachbarter Metallkörper in der Nähe der Drahtleitung untersucht. Eine den Drähten bis auf 14 bezw. 4,5 cm genäherte Zinkplatte von 1 m Durchmesser ergab Resonanzstellen bei $\frac{\lambda}{2} = 12{,}65$ bezw. 12,68 m, während ohne Platte 12,64 m gefunden wurde. Erdung der Platte ergab $\frac{\lambda}{2} = 12{,}69$ m. Diese Unterschiede liegen innerhalb der Einstellungsfehler. Es blieb sich hierbei gleichgültig, ob die Zinkplatte dem Strom- oder Spannungsbauche genähert wurde. 2. Die Annäherung von Holzleisten oder Brettern änderte die Resonanzstellung nicht merklich. Ein deutlicher Einfluß war erst zu finden, wenn Holzleisten von etwa 15×20 mm Dicke und Breite in einer Gesamtlänge von 6 m zwischen den Paralleldrähten, jedoch ohne sie zu berühren, angebracht wurden. Bei einem solchen Versuche mit einer Holzleiste wurde eine Resonanzstellung von 11,67 m gefunden, während sich ohne Holzleisten eine Resonanzstellung von $\frac{\lambda}{2} = 11{,}65$ m

Digitized by Google

ergab. 3. Wurde an Stelle der Holzleisten Eisenblech von 1 mm Dicke und 3 m Länge zwischen die Paralleldrähte gehängt, so fand keine merkliche Veränderung der Resonanzstellung statt, ebensowenig, wenn zwischen die Paralleldrähte ein 1 mm starker Kupferdraht parallel gespannt wurde. 4. War das Lechersystem statt aus Kupferdrähten aus zwei Kupferbändern von je 1 cm Breite gebildet und das Drahtsystem parallel zu dem Bandsystem in einem Abstande von 20 cm geführt, so entsprachen die Wellenlängen für die Paralleldrähte von $\frac{\lambda}{2} = 11{,}55$ m, wenn der Abstand der parallelen Drähte 2 cm betrug, für die Abstände der Bänder

	von 1 mm	3 mm	10 mm
Wellenlängen $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ von	10,25 m	10,82 m	11,51 m.

Die Kupferbänder zeigten daher praktisch schon in einem Abstande von 1 cm die gleiche Resonanzstellung, wie die Drähte bei 2 cm Abstand. Standen sich die Kupferbänder mit ihren breiten Flächen aber in einer anderen Ebene einander gegenüber, so wurde entsprechend der Halbwelle $\frac{\lambda}{2} = 11{,}55$ m bei einem Abstande der Bänder von 1 mm keine Resonanzstellung und bei einem Abstande von 8 mm eine solche von 10,48 m gefunden. 5. Versuche mit verschieden dicken Drähten von 1,02 und 0,05 mm Dicke gaben, wie zu erwarten, die gleichen Resonanzstellungen. Eine Umspinnung der Drähte mit Seide verkürzte die Resonanzstellung zwar deutlich, doch nicht mehr als um etwa 5 v. H. Ebenso hatte eine Veränderung des Abstandes der Drähte zwischen 2 und 5 cm keinen merklichen Einfluß, wenn man mit immer gleich großen Brücken überbrückte.

Die Ergebnisse der Eichung der Slabyschen Stäbe wurden in Tabellen und Kurven niedergelegt. Die Stäbe wurden für die Zwecke der Eichung mit einer Teilung in Zentimeter versehen. Als Ergebnis dieser Eichung gegenüber den von Slaby gefundenen Werten zeigte sich, daß hier oft ganz erhebliche Abweichungen vorliegen, welche im Maximum zwischen $\pm$ 5 v. H. schwankten. Diese Unterschiede in der Einstellungsgenauigkeit der verschiedenen Stäbe scheint in erster Linie durch die verschiedene Güte der am Kopfe der Schirme befindlichen Fluoreszenzschirme gelegen zu sein. Je geringer die Empfindlichkeit des Fluoreszenzschirmes ist, desto größer ist die Dämpfung des Multiplikationsstäbes und infolgedessen auch die Ungenauigkeit der Angaben.

Digitized by Google

Es wird daher für die weitere Vervollkommnung der Slabyschen Stäbe empfohlen, die Dämpfung möglichst klein zu machen, d. h. einen möglichst empfindlichen Reagenzschirm oder ein anderes geeignetes Reagenz anzuwenden, für welches Heliumröhren mit Alkalielektroden in Betracht zu ziehen wären. Die Herabsetzung der Dämpfung dürfte umsomehr aussichtsreich sein, als die elektromagnetische Ausstrahlung der Multiplikationsstäbe nur sehr klein ist und diese nach dem Poyntingschen Satze vom Energiestrom gleich ist dem Vektorprodukt aus elektrischer und magnetischer Kraft. Dieses Produkt ist nun bei dem Multiplikationsstabe ein sehr geringes, da hier die elektrischen und magnetischen Kraftlinien nahezu parallel verlaufen.

Methode von Greenleaf W. Pickard zur Untersuchung von Wellenanzeigern[1]). Um die Empfindlichkeit von Wellenanzeigern gegenüber sehr schwachen Hochfrequenzströmen zu ermitteln, werden, wenn nicht eine im Betriebe stehende drahtlose Telegraphenstation zur Verfügung steht, was insbesondere bei Untersuchung von Neukonstruktionen sehr selten der Fall ist, in der Mehrzahl der Fälle kleine Sende- und Empfangsleiter in kurzem Abstande voneinander aufgestellt und der Sendeleiter durch einen nicht geerdeten Hertzschen Oszillator unter Benützung eines kleinen Induktoriums erregt. Entsprechend den geringen Ausmaßen des Oszillators ist die Schwingungsfrequenz vielfach größer als bei den großen Stationen und bedingen kleine Aenderungen der Länge der Funkenstrecke, das Polieren der Funkenkugeln u. s. w. oft eine bedeutende Aenderung der Strahlungsenergie. Ferner macht es die geringe Entfernung des Senders vom Empfänger unmöglich, die störende Wirkung der statischen Induktion auszuschließen, durch welche sich den Hochfrequenzströmen in dem Empfangsdrahte verhältnismäßig niederfrequente Ströme von oft bedeutender Stärke überlagern. Außerdem ist es hierbei nicht möglich, die den Enden des Wellenanzeigers aufgedrückte E.M.K. anders als roh zu schätzen und erscheinen quantitative Messungen vollständig ausgeschlossen.

Bei der angegebenen Methode wird ein geschlossener, genau auf die gewünschte Frequenz abgestimmter Schwingungskreis verwendet, welcher in der sorgfältigsten Weise von dem zu untersuchenden Wellenanzeiger abgeschirmt wird, und mit diesem durch einen Kreis von so großer Impedanz verbunden ist, daß der Widerstand des Wellenanzeigers bloß einen vernachlässigbaren Teil der Impedanz bildet. Dies

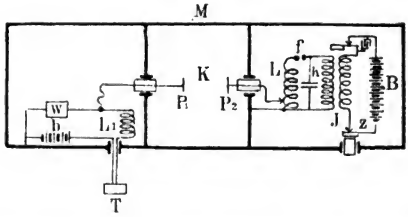
[1]) E. W. Bd. 46, S. 912.

Digitized by Google

wird durch die Einführung eines regelbaren Kondensators von sehr geringer Kapazität in den Stromkreis erreicht. Unter diesen Umständen ist der Stromfluß durch den Wellenanzeiger nur durch den Wert der Kapazität, die aufgedruckte E.M.K. und die Frequenz bestimmt. Nachdem der Schwingungskreis, der Luftkondensator und der Wellenanzeiger gesondert gegeneinander und auch gegen außenliegende Objekte abgeschirmt sind, und die Kapazitäten dieser Kreise mit Ausnahme des regelbaren Kondensators gegebene Größen darstellen, ist auch eine Beeinflussung durch die Bewegungen des Beobachters ausgeschlossen.

Fig. 84 zeigt die Anordnung der Apparate, Stromkreise und Schirme. M ist ein Schild aus Zinn- oder Zinkblättern, welches einen rechteckigen Kasten mit drei Abteilungen bildet. Jede Abteilung ist

Fig. 84.



mit einem metallischen Deckel ausgerüstet, um leicht in die einzelnen Abteilungen gelangen zu können. Die rechte Abteilung enthält die Batterie, den Taster, das Induktorium und den zugehörigen Schwingungskreis. Die Induktionsspule J ladet den Kondensator k, welcher sich über die Funkenstrecke f entladet und in dem Kreise L f k Schwingungen hervorruft, deren Frequenz von den Werten der Kapazität und Selbstinduktion abhängt. Ein Ende der Selbstinduktion L ist mit dem Schirme verbunden, während von einem Zwischenpunkte durch die Wandung der Abteilung ein Draht zu der Platte P_2 des regelbaren Kondensators K führt. Zur Verhinderung einer metallischen Berührung des Drahtes mit dem Schirme wird der Draht durch eine Glasröhre isoliert. Die andere Platte P_1 dieses Kondensators ist beweglich und an einem starken Drahte befestigt, welcher leicht in der isolierenden Glasröhre gleitet. In der linken Abteilung befindet sich der zu untersuchende Wellenanzeiger W, dessen eines Ende mit der Platte P_1, das andere mit dem Schilde M verbunden ist. Der Lokalkreis des Wellenanzeigers endet außerhalb des schirmenden Kastens in einen Telephon-

Digitized by Google

empfänger oder ein Galvanometer T. In diesen Kreis ist ferner in der Nähe der Kondensatorseite eine passende Drosselspule L_1 eingesetzt, um das Mitschwingen des Lokalkreises hintanzuhalten.

Obwohl praktisch eine unbegrenzte Anzahl von Schwingungsfrequenzen erhalten werden kann, ist es für die Untersuchung von Vorteil, nur solche Frequenzen zu benutzen, wie sie in der Durchführung der drahtlosen Telegraphie tatsächlich zur Anwendung gelangen. Als passendstes Normale wird diesbezüglich eine Million Perioden in der Sekunde angegeben, und ist, um diese Frequenz zu erhalten, dem Kondensator eine Kapazität von einem Tausendstel Mikrofarad zu geben und dieser durch eine Selbstinduktion von 25 Mikrohenries zu entladen.

Diese Selbstinduktion ist nun einesteils mit dem Schirme, anderenteils mit der Platte P_2 des Luftkondensators verbunden. Der Verbindungspunkt mit der Kondensatorplatte bestimmt nun die Spannung über den Kondensator und infolgedessen auch den durch den Wellenanzeiger hindurchgehenden Strom. Es sollen daher für die annähernde Einstellung mehrere Berührungspunkte mit der Selbstinduktionsspule geschaffen werden können. Hat diese Spule 36 Windungen und wird der Kondensator an die erste Windung angelegt, so beträgt die dem Kondensator aufgedrückte Spannung ein Sechsunddreißigstel der zwischen den Endpunkten der Spule herrschenden Spannung. Ist diese Spannung bekannt, so läßt sich der den Wellenanzeiger durchfließende Strom leicht berechnen. Beträgt der Abstand der Funkenkugeln 1 mm, so ist die Spannung an den Enden der Spule annähernd 4000 Volt und die dem Kondensator aufgedrückte Spannung unter der gegebenen Bedingung annähernd 110 Volt. Der Wellenanzeigerstromkreis schließt nun eine Windung der Selbstinduktion L_1, den Luftkondensator K und den Wellenanzeiger W ein, wobei der Schluß des Kreises durch den Schirm hergestellt wird. Der Strom in diesem Kreise berechnet sich nun nach der Formel

$$J = \frac{110}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

welche sich, da sowohl R als L im Verhältnisse zu $\frac{1}{\omega C}$ sehr klein sind, daher vernachlässigt werden können, auf

$$J = 110\ \omega C \text{ Amp.}$$

reduziert.

Bei den im Gebrauch stehenden außerordentlich empfindlichen Wellenanzeigern ist die zur Hervorrufung eines bemerkbaren Signales

Digitized by Google

erforderliche Stromstärke sehr gering. Macht man die Platten $P_1 P_2$ aus Metallscheiben von 1 cm Durchmesser und entfernt sie mehrere Zentimeter voneinander, so wird die Kapazität auf weniger denn ein Hundertstel eines Mikro-Mikrofarads herabgedrückt und beträgt dann der Strom einen Bruchteil von einem Mikroampere.

Diese Methode eignet sich nicht nur für die Untersuchung von Wellenanzeigern, sondern auch für die Untersuchung von abgestimmten Empfangskreisen, da man hierbei Stromwerte erhält, welche sich mit jenen bei der drahtlosen Telegraphie über große Entfernungen vergleichen lassen. Nachdem die Dämpfung in dem Erregerschwingungskreise verhältnismäßig sehr gering ist, sind die Schwingungen andauernd und den von den drahtlosen Senderstationen entsendeten Schwingungen vergleichbar.

Das Cymometer von Fleming[1]). Dieses Instrument dient zum Messen der Längen der von einem Luftdrahte ausgestrahlten Wellen und besteht aus einem Ortsschwingungskreis mit regelbarer Kapazität und Selbstinduktion und einer Neonröhre quer über den Endpunkten. Sobald Resonanz hergestellt ist, beginnt die Röhre zu leuchten. Die Neonröhren sind besonders empfindlich gegen Wechselstrom E.M.K. und beginnen bereits bei den verhältnismäßig geringen Spannungen von 300—400 Volt bemerklich zu leuchten. Mit Hilfe dieser Röhren läßt sich die Wellenlänge bis nahezu auf 1 v. H. genau bestimmen. Das wesentliche dieser neuen Einrichtung besteht nur in der Verwendung der Neonröhre, da Resonanzkreise für die gleichen Zwecke schon lange verwendet werden.

Wellenmesser für drahtlose Telegraphie von Fleming[2]). Das Instrument (Fig. 85) besteht aus einer langen Drahtrolle $K_1 K_2$ aus dünnem mit Seide isolierten Drahte, welcher in einer einzigen Lage in unmittelbar anschließenden Windungen auf einen Stab aus Ebonit, Glas oder sonst einem gut isolierenden Material aufgewunden ist. Diese Rolle wird von isolierenden Ständern c_1, c_2, c_3 getragen. C_1 ist ein kleiner Kondensator, über welchen die Schwingungen auf die Drahtrolle übertragen werden. Längs der Drahtrolle gleitet ein Metallsattel D, der mit Zinnfolie oder einem anderen flexiblen metallischen Material ausgepolstert ist, um einen innigen Kontakt mit der isolierten Drahtspirale herzustellen. Dieser Sattel ist durch einen starken Draht W mit einer Erdplatte E verbunden und trägt einen isolierenden Handgriff, mittels welchem er längs der Spule verschoben werden kann.

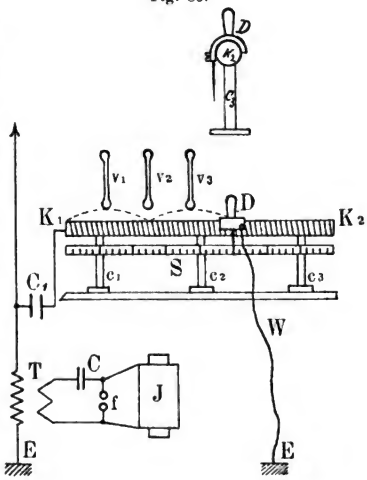
[1]) E. W. Bd. 46, S. 295.

[2]) Lond. Electrician, 29. September 1905.

Digitized by Google

Der Sender kann von jeder beliebigen Type sein. Um nun die Wellenlänge des Senders zu bestimmen, werden dessen Schwingungen durch den Kondensator C_1 auf die Drahtrolle übertragen und rufen in dieser stehende Schwingungen hervor, welche sich längs der schraubenartigen Drahtwindungen mit einer gewissen Geschwindigkeit fortpflanzen und durch den Sattel D reflektiert werden. Sowie sich der Sattel in einer Lage befindet, in welcher die Entfernung K_1 D einer vollständigen Wellenlänge der stationären Spannung entspricht, leuchtet die zur Erkennung der richtigen Einstellung benutzte Vakuumröhre hell auf, wenn sie über einem Spannungsbauch der Welle, also an einem der Punkte v_1 oder v_3 über der Drahtrolle gehalten wird. In dem Punkte v_2, welcher einen Spannungsknoten darstellt, ist die Einwirkung zu gering, um das Aufleuchten hervorzurufen. Sowie sich jedoch der Sattel an einem Punkte befindet, welcher nicht genau einer Wellenlänge oder einem Vielfachen einer solchen entspricht, dann findet keine so regelmäßige Verteilung der Spannung statt und die Vakuumröhre wird äußerst irregulär zum Leuchten gelangen oder verlöschen, woran deutlich zu erkennen ist, daß Resonanz nicht stattfindet und ist daher der Sattel so lange zu verschieben, bis das reguläre Aufleuchten der Vakuumröhre eintritt. Die gesuchte Wellenlänge wird sodann unmittelbar von einer unterhalb der Drahtrolle befindlichen Skala S abgelesen.

Fig. 85.



F. Wellenanzeiger und Untersuchungen über deren Wirkung.

Der Entdecker des elektrolytischen Wellenanzeigers. Gegenüber dem Urheberstreit zwischen Fessenden, de Forest und Schloemilch, welche die Priorität der Entdeckung des elektro-

Digitized by Google

lytischen Wellenanzeigers für sich in Anspruch nehmen, stellt Prof. André Blondel[1]) fest, daß Kapitän Ferrié diesen Wellenanzeiger, und genau in der Form, wie solche von Dr. Jves in E. W. B. 44 S. 995 (s. F. d. T. III, S. 172) beschrieben wurde, bereits 1900 dem internationalen elektrischen Kongreß (Proceedings of the Congress, Bd. II, S. 289) vorgeführt hat und dementsprechend als der Entdecker dieses Wellenanzeigers anzusehen ist.

Demgegenüber weist E. Merritt[2]) nach, daß Prof. Pupin den elektrolytischen Wellenanzeiger bereits am 28. Oktober 1899 der amerikanischen physikalischen Gesellschaft vorgeführt und auch in der zweiten Nummer des Physical Society Bulletin (Bd. 1, Nr. 2, S. 21) beschrieben hat, sonach nur dieser als dessen Entdecker angesehen werden kann.

Einfluß der Ionisation auf die Leitungsfähigkeit des Fritters[3]). Nach Untersuchungen Richard Thöldtes sinkt der Widerstand eines Fritters unter dem Einflusse eines Radiumpräparates, auch unter der sogenannten kritischen Potentialdifferenz, auf eine meßbare Größe. Dies ließ sich insbesondere gut an dem luftleeren Fritter von Leppin und Masche nachweisen. Es lassen sich demnach mittels der durch ein Radiumpräparat in einem Fritter erzeugten Ionisation elektrische Schwingungen in Spulen von wesentlich geringerer Stärke als sonst nachweisen. Die durch Kurzschluß hergestellte Leitfähigkeit eines Fritters wird durch Radiumbestrahlung bedeutend erhöht. Der Verfasser kommt zu dem Schlusse, daß die Leitfähigkeit eines Fritters eine Funktion zweier Veränderlichen, nämlich der elektrischen Schwingungen und der Ionisation ist.

Untersuchungen über den elektrolytischen Wellenanzeiger[4]). Aus den eingehenden Untersuchungen des Kapitän Ferrié sei folgendes hervorgehoben: Wird ein Platindraht von 0,01 mm in Schwefelsäure oder Salpetersäure so eingetaucht, daß er die Flüssigkeit nahezu berührt und schaltet man diese Zelle in einen Telephonkreis, so läßt sich ein Zug zufälliger Wellen bis auf 18 km Entfernung mittels des Telephones abhören. Die Empfindlichkeit des Apparates läßt sich noch erheblich vergrößern, wenn man eine E.M.K. mit dem positiven Pole an das Platin einführt, solange diese Kraft unter dem Punkte sich befindet, bei welchem Elektrolyse eintritt. Dieser Punkt

[1]) E. W. Bd. 45, S. 850.
[2]) E. W. Bd. 46, S. 185.
[3]) Ann. d. Ph. Bd. 17, S. 964.
[4]) Comptes Rendus, 31. Juli 1905.

Digitized by Google

kann mittels eines Potentiometers festgestellt werden. Sowie dieser Punkt überschritten ist, vernimmt man ein kontinuierliches Zischen im Telephone. Wird das Telephon durch ein ballistisches Galvanometer ersetzt, so zeigt sich das Einlangen eines jeden Wellenzuges durch einen Ausschlag an. Dieser Ausschlag kehrt sich bei Einführung der E.M.K. um. Diese befremdende Tatsache läßt sich durch die Annahme eines Depolarisationsstromes erklären. Sowie die E.M.K. eine Gegen-E.M K. der Polarisation in der Zelle erzeugt, welche eine Art von Kondensator bildet, verursachen die einwirkenden Wellen eine Entladung dieses Kondensators, wobei die erforderliche Leitfähigkeit durch eine Art Frittwirkung geschaffen wird.

W. R. Carroll[1]) ist der Ansicht, daß die Wirkung der elektrolytischen Wellenanzeiger auf einer Störung der Wirkung der Orts-

Fig. 86.

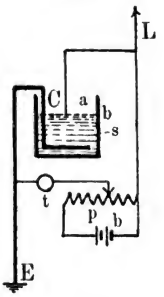
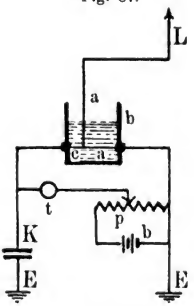


Fig. 87.



batterie in der elektrolytischen Zelle durch die oszillierenden Ströme beruhe und begründet dies durch folgenden Versuch. Wird an Stelle der gewöhnlich angewendeten Schaltung (Fig. 86) die Schaltung so durchgeführt, daß der Luftdraht L einem Drahte, sei es der der Anode oder Kathode, sehr genähert wird, aber so, daß er nicht die Unterbrechungsstelle zwischen diesen Drähten trifft, und leitet man diesen Draht über einen Kondensator K zur Erde ab (Fig. 87), so wird das Telephon t durch oszillatorische Ströme in keiner Weise beeinflußt, wiewohl diese Ströme durch die Flüssigkeit hindurchgehen, somit, wenn deren Wirkung auf Erwärmung beruhen würde, das Telephon zum Ansprechen bringen müßten. Es bedeuten in diesen Figuren außerdem noch L

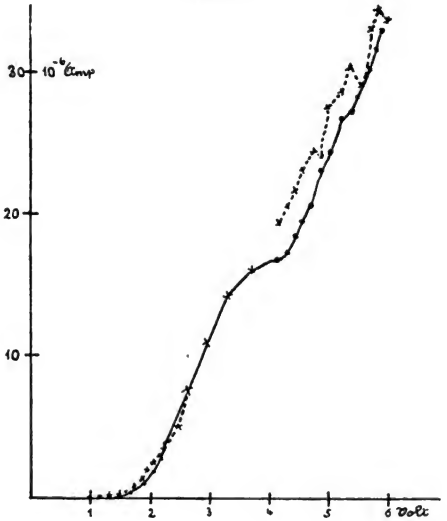
[1]) E. W. Bd. 46, S. 145.

Digitized by Google

den Luftdraht, b die elektrolytische Zelle, a die Anode, c die Kathode, p ein Potentiometer und E E die Erden. Es wird durch diese Anordnung der Weg der oszillatorischen Ströme von dem Wege des Lokalstromes getrennt, während im ersteren Falle beide Wege gemeinsam sind.

B. Macku[1]) benützte bei seinen Untersuchungen einen Wellenanzeiger, der aus einem Platindrahte von 0,4 mm Durchmesser als

Fig. 88.



Kathode und einer punktförmigen Anode bestand. Zur Herstellung der letzteren wurde ein Platindraht von 0,1 mm Durchmesser in eine Kapillarröhre eingeschmolzen, die zusammengeschmolzene Stelle stark erhitzt und sodann rasch ausgezogen. Der Platinfaden riß dabei in zwei in feine Spitzen auslaufende Stücke. Das Glas wurde sodann am Ende des Drahtes zerbrochen und nochmals erhitzt. Es bildet sich hierbei ein Glastropfen, der sich langsam zusammenzieht, bis seine Oberfläche von der Platinspitze durchbrochen wird. Diesen Augenblick

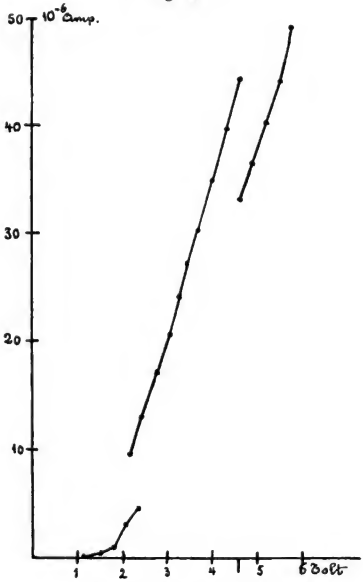
[1]) Ph. Z. 1905, S. 232.

Digitized by Google

bemerkt man sehr gut dadurch, daß die Platinspitze zu leuchten beginnt. Als Elektrolyt dienten Lösungen von Schwefelsäure in Wasser verschiedener Konzentration.

Die Abhängigkeit der Stromintensität von der E.M.K. stellt die voll ausgezogene Kurve (Fig. 88) dar. Aus den bekannten Zersetzungspunkten[2]) für H_2SO_4 wurden, wegen der Kleinheit der Anode, nur 1,95, 2,63, 3,4 und 4,4 Volt erhalten. Statt des langsamen kontinuierlichen Uebergehens von einer elektromotorischen Gegenkraft zur anderen erhält man häufig Sprünge. Fig. 89 zeigt einen solchen nach der Beobachtung gezeichneten Fall.

Fig. 89.



Beobachtungen an einer sehr verdünnten Lösung mit nur einer Spur von H_2SO_4 zeigten die interessante Tatsache, daß sich die Stromintensität bei unveränderter E.M.K. periodisch ändert.

Die komplizierte und dabei regelmäßige, aus einer langen Beobachtung hergestellte Fig. 90 zeigt, daß es sich hier kaum um die mechanische Abreißung von Gasbläschen handeln kann. Auffallend sind hier die zwei Perioden und zwar die kleine von 3,4 und die größere von 6,05 Min. im Mittel, und die Abnahme der Anzahl der kleineren Intervalle mit der Zeit. Die Kurve ist auch unabhängig von der Intensität, wie die Kurve (Fig. 91) zeigt, welche bei 3,09 Volt und etwa 8mal kleinerer Intensität bei sonst unveränderten Verhältnissen gewonnen wurde. Die Periode dieser Kurve stimmt mit der größeren Periode der Kurve (Fig. 90) vollkommen überein. Auch dies spricht nicht für das Ab-

[2]) Leblanc, Lehrbuch der Elektrochemie, III. Aufl., S. 264.

Digitized by Google

reißen der Gasbläschen. Die Einschaltung eines kleinen Induktoriums zur Vergrößerung der Selbstinduktion im Stromkreise oder die Anlegung einer Kapazität von 1 Mikrofarad ändert am Verlaufe der Kurve nichts und zeigt dies und die komplizierte Periode, daß diese Aenderungen nicht mit denjenigen eines Wehneltunterbrechers identisch sind.

Es findet bei Schließung des Stromkreises zwar die Ausbildung eines Gasbläschens an der Anode statt, aber dies haftet während der ganzen Zeit des Versuches an der Spitze fest. Kleine mechanische Erschütterungen des Wellenanzeigers ändern an der Periode nichts.

Fig. 90.

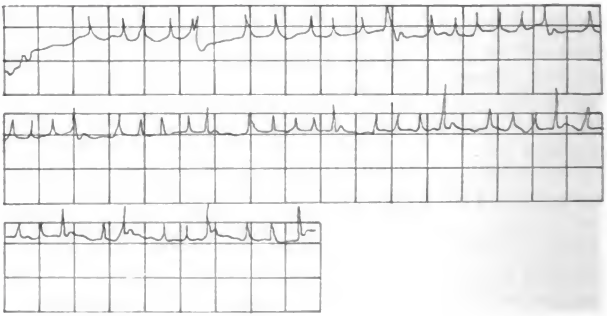
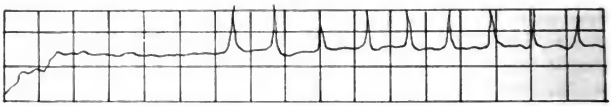


Fig. 91.



Diese Veränderungen zeigen sich auch bei größeren Konzentrationen, verlaufen dann aber so schnell, daß sich ihr Verlauf ohne selbsttätige Aufzeichnung nicht feststellen läßt. Die Periode bei einer Konzentration des Elektrolytes mit 0,004 v. H. H_2SO_4 bei 2,47 Volt wurde mit 36 Sek. bestimmt.

Diese Aenderungen treten immer dann ein, wenn die Intensität des Stromes mit der Zeit nicht abnimmt, wie bei der Polarisation, sondern zunimmt (s. die ersten Teile der Kurve Fig. 90 u. 91). Und dieses erfolgt immer nur bei größeren E.M.K.en. Tritt nach der Stromschließung eine Zunahme der Intensität ein, so läßt sich nach einiger

Digitized by Google

Zeit die bei allen Frittern wohlbekannte „Unbeständigkeit des Widerstandes" beobachten. Mit diesen Aenderungen dürfen aber die dauerhaften Sprünge der Intensität nicht verwechselt werden.

Bemerkenswert ist auch die „Aufeinanderlagerung der Polarisation" bei so kleinen Elektroden. Wird der Wellenanzeiger zuerst durch einen Strom polarisiert, der von der punktförmigen zur ringförmigen Elektrode übergeht und sodann der Strom umgekehrt, so zeigt der Wellenanzeiger, wenn man ihn unter Ausschluß der äußeren E.M.K. in einen Kreis mit einem Galvanometer bringt, vorerst einen Strom, der der letzten Polarisation entspricht. Dieser Strom nimmt langsam ab, kehrt sich von Null in die entgegengesetzte Richtung um, und entspricht sodann wieder der ersten Polarisation [1]).

Der Wellenanzeiger zeigt sich, gleichgültig ob eine Lösung von H_2SO_4 oder ein fester Elektrolyt verwendet wird, empfindlich gegen die Einwirkung elektrischer Wellen in der Weise, daß sich die Stromstärke vergrößert. Für die Untersuchung dieser Einwirkung wurde, um sich von Störungen frei zu halten, als wirksame Quelle der oszillatorischen Ströme ein Kondensator gewählt, der von einem Wechselstrom von 110 Volt und 50 Perioden gespeist wurde.

Die Abhängigkeit der Wirkung dieses Wellenanzeigers von der wirksamen E.M.K. zeigt Fig. 88. Die voll ausgezogene Kurve gibt die Stromintensität ohne und die punktierte mit der Wirkung des Wechselstromes an. Die bedeutendere Wirkung tritt in der Partie der Kurve, wo sich diese nach oben zu wenden beginnt, ein, d. i. in der Nähe des Zersetzungspunktes. (Trotzdem ist die prozentuelle Aenderung der Intensität bei niedrigeren E.M.K.en [2]) größer.) In der ersten geraden Partie ist die Wirkung dagegen sehr klein. In der zweiten geraden Partie ist die punktierte Kurve fast parallel zu der früheren, sodann ist aber die Wirkung ziemlich unregelmäßig, doch zeigte sie bei allen Messungen den in der Kurve angegebenen Charakter.

Mit steigender E.M.K. des Wechselstromes steigt die Wirkung rascher an, als die gerade Proportionalität ergeben würde. Diese Wirkung läßt sich aber schon bei einer E.M.K. des Wechselstromes von 0,01 Volt beobachten, wenn die Kapazität hinreichend groß (1 Mikrofarad) ist und die wirksame E.M.K. 1,5 Volt beträgt. Mit steigender Wirksamkeit wächst die Empfindlichkeit ebenso mit der Konzentration des Elektrolytes, doch läßt sich die Wirkung des Wechselstromes auch bei reinem destillierten Wasser feststellen. Die Partie der Kurve, in

[1]) Siehe auch E. Bose, Zeitschrift für physikalische Chemie 38, I, 1901.
[2]) F. d. T. II. S. 76.

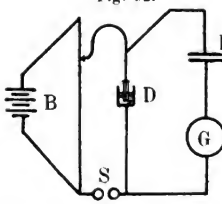
Digitized by Google

welcher die vorerwähnten periodischen Aenderungen vor sich gehen, ist weniger empfindlich, doch wird die Periodizität der Kurve durch den Wechselstrom nicht geändert, jedoch die ganze Kurve zu größerer Intensität, d. h. nach oben verschoben.

Die Vergrößerung der Intensität durch den Wechselstrom dauert so lange an als der Wechselstrom wirkt. Nach dessen Unterbrechung kehrt die Intensität rasch zu einem niedrigeren Werte zurück, als sie vor der Einwirkung gehabt hatte. Läßt man den Wechselstrom auf den polarisierten Wellenanzeiger unter Ausschluß der äußeren E.M.K. einwirken, so beobachtet man gleichfalls eine Erhöhung der Intensität des Polarisationsstromes. Diese sinkt jedoch während der weiteren Einwirkung des Wechselstromes rasch herab.

Es handelt sich bei diesen Vorgängen um die Verkleinerung der elektromotorischen Gegenkraft der Polarisation, wovon man sich auf folgende Weise überzeugen kann. Legt man an die Leitung einen Nebenschluß parallel zum Wellenanzeiger (Fig. 92), in welchen man einen Kondensator K und ein ballistisches Galvanometer G einschaltet und öffnet sodann den Hauptstromkreis durch den Schalter S, so beobachtet man an dem Galvanometer einen Ausschlag, der der E.M.K. entspricht, die an den Polen des Wellenanzeigers infolge seines Widerstandes bestand. Wirkt dann eine elektrische Welle auf den Wellenanzeiger, so ladet sich der Kondensator weiter aus, d. h. die E.M.K. der Polarisation an den Polen des Wellenanzeigers hat abgenommen.

Fig. 92.



Der neue Fritter von Branly[1]). Dieser Fritter besteht im wesentlichen aus drei polierten Stahlstäben mit oxydierten abgestumpften Spitzen, die auf einer polierten Stahlplatte ruhen. Die Kontakte zwischen den oxydierten Spitzen und der Stahlplatte lassen im normalen Zustande den Strom der Lokalbatterie nicht durch, werden aber unter der Einwirkung elektromagnetischer Wellen sofort leitend. Eine leichte Erschütterung, die durch einen von der Ortsbatterie gespeisten Klopfer hervorgerufen wird, genügt, um die Leitfähigkeit sofort wieder zu unterbrechen. Die Schaltung bleibt die bisher bei Frittern gebräuchliche.

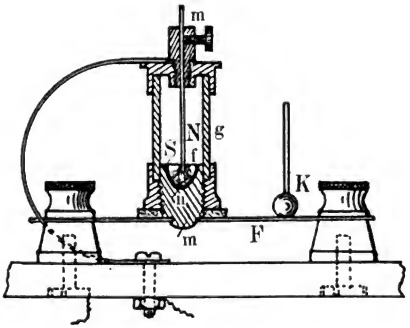
Der Fritter von Massie[2]). Dieser Fritter (Fig. 93) besteht aus einer Stahlnadel N, welche an ihrem unteren Ende magnetische

[1]) E. W. Bd. 46, S. 301.
[2]) E. W. Bd. 46, S. 561.

Digitized by Google

Feilspäne f anzieht, die entweder in oder auf nicht magnetischen Spänen n gebettet liegen. Der Widerstand des Fritters kann durch Vergrößerung oder Verringerung der Oberfläche der Spänemasse in der Schale S beliebig geändert werden und ist zu diesem Zwecke die Schale so geformt, daß ihr Querschnitt von unten nach oben stets gleichmäßig ansteigt. Der gesamte Fritter ist in eine oben und unten mit Metallfassung versehene Glasröhre g eingeschlossen. In diese Metallfassung ist, wie aus der Figur ersichtlich, je ein Metallstöpsel m m eingeschraubt, deren einer die Schale mit den Feilspänen enthält, der andere mit einer Durchbohrung versehene dagegen die durch eine Schraube festgehaltene und verschiebbare Nadel N trägt. Der Fritter

Fig. 93.



wird auf eine an zwei Metallblöcken mittels Schrauben befestigte Blattfeder F aufgesetzt. Auf diese Blattfeder schlägt der Klöppel K auf und bewirkt hierdurch in der bekannten Weise die Entfrittung. Die Zuführungsdrähte gehen einerseits vom oberen Metallstöpsel, anderseits von einem der Metallblöcke ab. Die ganze Einrichtung kann leicht auseinandergenommen und ebenso leicht wieder zusammengestellt werden.

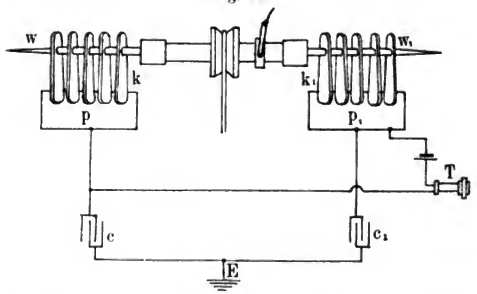
Der Wellenanzeiger von Murgas[1]). Dieser Wellenanzeiger beruht auf Frittwirkung, ist aber infolge seiner eigenartigen Anordnung selbst entfrittend. Die polierte Stahlwelle w w_1 (Fig. 94) wird durch einen Elektromotor in fortwährender Drehung erhalten. Auf diese Stahlachse sind Kohlenscheiben k k_1 rechts und links lose aufgesteckt, welche mit ihrem unteren Ende auf Platinstücken p p_1 auf-

[1]) E. R. (New York), 2. Dezember 1905.

Digitized by Google

ruhen. Die hierdurch entstehenden unvollkommenen Kontakte werden unter dem Einflusse elektrischer Wellen zu guten Leitern und es wird ein entsprechender Ton im Fernhörer T vernehmbar. Durch die ununterbrochene Drehung der Stahlwelle wird dieser Kontakt sofort wieder aufgehoben und dauert somit der Einfluß nur so lange an, als oszillatorische Ströme auf den Anzeiger einwirken. Die Welle steht

Fig. 94.



mit dem Luftdrahte in Verbindung und sind die unvollkommenen Kontakte zwischen Luftdraht und Erde parallel, dagegen zu dem Fernhörer in Reihe geschaltet.

Der Wellenanzeiger von J. Rodet[1]). Dieser neue Wellenanzeiger beruht auf der bekannten Tatsache, daß der Widerstand der Berührungsstelle eines oxydierten und eines blanken Drahtes unter der Einwirkung Hertzscher Wellen verändert wird. Es werden bei diesem Anzeiger blanke und oxydierte Metallkugeln in abwechselnder Folge in eine Glasröhre eingeführt und sodann die Röhre an beiden Seiten durch mit den Zuführungsdrähten verbundene Metallstücke abgeschlossen. Eine durch das eine Verschlußstück hindurchgehende Schraube gestattet den Kugelabstand zu regeln. Schaltet man diesen Wellenanzeiger in Reihe mit dem Empfangsleiter und eine Batterie und ein Telephon im Nebenschlusse zu ihm, so lassen sich einlangende funkentelegraphische Zeichen am Telephon deutlich abhören. Der Apparat als solcher ist selbstentfrittend und soll eine klare Wiedergabe der Zeichen ermöglichen und gegen mechanische Einflüsse, Erschütterungen u. s. w. wenig empfindlich sein.

[1]) Electrician, 4. Februar 1905.

Digitized by Google

Der Wellenanzeiger von Stone[1]). Stone bedient sich bei seinem Systeme der drahtlosen Telegraphie nebst einem Fritter noch eines Wellenanzeigers, welcher als Mittelding zwischen Bolometer und Fritter angesehen werden kann. Er wird als sich selbst regenerierendes Bolometer bezeichnet und besteht aus einem Platindrahte von mikroskopischem Durchmesser, welcher in eine mit Quecksilber gefüllte Kapillarröhre eingetaucht ist. Die charakteristische Eigenschaft dieses Bolometers ist, daß dessen scheinbarer Widerstand unter der Einwirkung elektrischer Oszillationen ganz außerordentlichen Schwankungen unterliegt, und nach Beendigung dieser Einwirkung sofort wieder den ursprünglichen Widerstand annimmt. Dieser Wellenanzeiger wird mit einer Batterie und einem empfindlichen Telephone verbunden.

Der Wellenanzeiger von W. S. Hogg[2]). Bei diesem Wellenanzeiger werden die thermoelektrischen Kraftschwankungen, welche zwischen mikrophonischen Kontakten verschieden thermoelektrischer Materialien unter der Einwirkung elektrischer Schwingungen auftreten, ausgenützt. Ein gepulvertes Gemenge von Nickel, Zink und Selenium liegt zwischen zwei Elektroden, deren eine aus feinem Platindraht, die andere aus einem dünnen Eisenstab besteht. Das selenierte Material bildet mit dem Platindrahte ein kräftiges thermoelektrisches Element. Da das Platin eine geringe Wärmekapazität hat, so ändert sich dessen Temperatur unter der Einwirkung oszillatorischer Ströme sehr schnell. Der Wellenanzeiger wird in Verbindung mit einem Telephon als Zeichennehmer in den einen Arm einer Wheatstonebrücke eingeschaltet.

Der Glühlampenwellenanzeiger von Fleming[3]). Fleming benützt die bekannte Eigenschaft einer leuchtenden Glühlampe, von der Kathode Materieteilchen wegzuschleudern. Er setzt zu diesem Zwecke eine kleine Metallplatte in die Glasbirne ein, wodurch infolge der elektrisierten Kathodenpartikel nach der Elektrode ein elektrischer Strom entsteht, der von dieser fortgeleitet werden kann. Die so adjustierte Lampe wird nun in einen Ortsstromkreis geschaltet, der induktiv mit dem Empfangsdrahte verbunden ist. Treffen nun den Luftdraht Wellenimpulse, so entsteht durch die induktive Uebertragung ein gleichgerichteter Strom zwischen Kathode und Elektrode. Die Gegenwart dieser gleichgerichteten Stromimpulse wird durch ein Galvanometer angezeigt, von welchem die Zeichen abgelesen werden.

[1]) E. W. Bd. 46, S. 63.
[2]) E. W. Bd. 46, S. 133.
[3]) E. W. Bd. 46, S. 294.

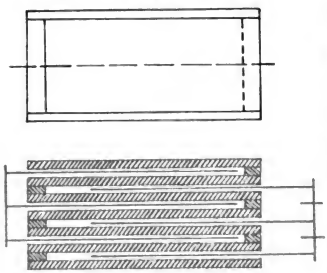
Digitized by Google

Heliumröhren als Wellenanzeiger[1]). Ernst Dorn führt an, daß unter den zum Nachweis schneller elektrischer Schwingungen schon seit langer Zeit verwendeten Röhren mit verdünnten Gasen, die nach Warburg, Plücker u. a. sich nach seinen Versuchen für diese Zwecke besonders bewähren. Mit Heliumröhren von 3 bis 5 mm Druck läßt sich bei gedämpftem Tageslichte oder ziemlich heller künstlicher Beleuchtung noch arbeiten. Heliumröhren von 10 mm Druck sind noch heller, sprechen aber weniger leicht an.

G. Neuerungen und Verbesserungen an den Einrichtungen für drahtlose Telegraphie.

J. C. Müllers einfacher Kondensator mit veränderlicher Kapazität für Abstimmungsversuche[2]). Bei diesem Demonstrationszwecken dienenden Kondensator mit veränderlicher Kapazität wird Glas als Dielektrikum benützt. Der Kondensator besteht aus 15 rechteckigen Glasplatten von 13 und 15 cm Seitenlänge. Zwischen zwei sich folgenden Platten liegen an den beiden längeren und an der einen kürzeren Seite (Fig. 95) Glasstreifen von etwa 12 mm Breite und werden diese so übereinander geschichtet, daß abwechselnd an der rechten und linken Seite eine Oeffnung zum Einschieben der Belegungen frei bleibt. Alle Platten werden vor dem Zusammensetzen in einem Trockenofen sorgfältig getrocknet und im warmen Zustande am Rande in einem 12 mm breiten Streifen mit ziemlich dicker Schellacklösung bestrichen. Nach Trockenwerden dieses Anstriches werden die Glasstreifen angewärmt, mit der gleichen Lacklösung bestrichen und auf die Seiten der Platten fest aufgedrückt. Auf diese drei Streifen wird wieder Schellacklösung gebracht dann auf diese eine zweite angewärmte Glasplatte gelegt und fest aufgedrückt. Auf diese Glasplatte werden wieder in der ganz gleichen Weise drei Glas-

Fig. 95.



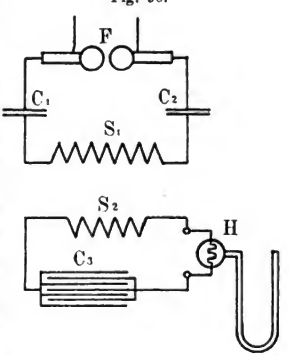
[1]) Ann. d. Ph. Bd. 16, S. 784.
[2]) Ph. Z. 1905, S. 231.

Digitized by Google

streifen, jedoch so befestigt, daß jetzt die gegenüberliegende kürzere Seite wie vorhin freigelassen wird. In solcher Weise wird nun der ganze Glaskörper zusammengesetzt, in welchen dann von zwei gegenüberliegenden Seiten die Belegungen eingeschoben werden können.

Diese bestehen aus rechteckigen Platten von 10 : 18 cm Seitenlänge, aus Zinkblech von etwa 1 mm Dicke. Auf der einen Seite werden sieben Platten fest eingeschoben, die unterhalb an ihren freien Enden durch eine Schraube mit mehreren Muttern, von denen je eine zwischen zwei aufeinanderfolgenden Platten liegt, verbunden sind. Die andere Belegung besteht aus der gleichen Anzahl von Zinkblechplatten gleicher Stärke, die ebenfalls unter sich wie vorher verbunden sind, aber mittels eines Handgriffes zwischen die Glasplatten und damit auch zwischen die Platten der ersten Belegung geschoben werden können.

Fig. 96.



Dieser Kondensator wird, wie aus Fig. 96 hervorgeht, in Verbindung mit einer Spule S_2 aus isoliertem Kupferdraht von 3 bis 8 Windungen und einem dem Rießschen Luftthermometer ähnlichen Instrumente in den Sekundärkreis geschaltet. Die Spule S_1 des Erregerkreises steht zur Spule S_2 auf eine Entfernung von 15 bis 20 cm parallel. Sobald die Schwingungen im primären Kreise erregt werden, erfolgt die Aenderung der Kapazität des Kondensators, bis das Luftthermometer ein Maximum der Stromstärke im Hitzdrahte anzeigt.

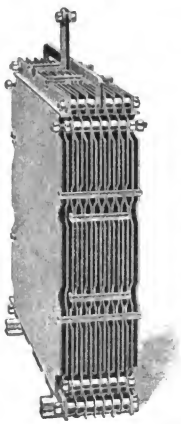
Der neue Hochspannungskondensator von Hanns Boas[1]) dient zum Ersatze der zerbrechlichen gläsernen Leidener Flaschen bei der Erzeugung elektrischer Schwingungen. Als Dielektrikum wird erhitztes, scharf getrocknetes Rizinusöl verwendet, welches eine Dielektrizitätskonstante von nahezu 5 besitzt. Der Kondensator als solcher besteht (Fig. 97) aus zwei Systemen paralleler ebener Zinkplatten, die durch metallene Stehbolzen miteinander verbunden sind und im geeigneten Abstande voneinander durch passend geformte Hartgummibrücken gehalten werden. Das Plattensystem ist in einen Blechkasten

[1]) E. T. Z. 1905, S. 383.

Digitized by Google

derart eingebaut, daß die Kastenwand als Belegung mitbenutzt wird. Die Platten verschiedener Polarität haben 6 mm Abstand voneinander und sind für effektive Betriebsspannungen von 10000 Volt bestimmt. Ein Kasten mit zweien solcher Kondensatorelemente mit Oelfüllung hat eine Kapazität von 0,02 Mikrofarad. Außen ist der Kondensator ganz in Teakholz eingebaut. Dieser Kondensator läßt sich auch vorteilhaft als Spannungsteiler und Erdschlußprüfer in Hochspannungswechselstromanlagen verwenden.

Fig. 97.



Der Lichtbogenunterbrecher von Ruhmer[1]) besteht (Fig. 98) aus einer mit einem starken elektromagnetischen Gebläse versehenen Bogenlampe, wodurch er sich von der Anordnung nach Duddell unterscheidet. Parallel zum Lichtbogen ist ein aus Kapazität und Selbstinduktion bestehender Schwingungskreis geschaltet, der durch den Lichtbogen zu lebhaften Eigenschwingungen angeregt wird. Als Unterbrecher für Funkeninduktoren verwendet, gibt dieser bei Betrieb mit dem neuen Unterbrecher dicke Flammenbogenentladungen voller Schlagweite. Dieser Lichtbogenunterbrecher enthält keine bewegten oder sich drehenden, der Abnutzung unterworfenen Teile und beschränkt sich die ganze Arbeit auf die Auswechslung der Kohlenstäbe nach mehrstündigem ununterbrochenen Betriebe. Der Energieverbrauch dieses Unterbrechers ist ein äußerst geringer. Dieser Unterbrecher dürfte sich sonach überall dort, wo es auf einen dauernd betriebssicheren Unterbrecher ankommt, bestens bewähren. Der Unterbrecher liefert jedoch auch durch unmittelbare Speisung eines Impedanzgestelles Hochfrequenzströme. Die Unterbrechungszahl kann durch entsprechende Veränderung der Eigenperiode des Schwingungskreises, wie dies durch kinematographische Aufnahmen erwiesen wurde, bis zu 400000 in der Sekunde gesteigert werden und ist hierdurch die Lösung der Aufgabe, dauernd ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen, sehr nahe gekommen.

Vorrichtung von Moore zur Erzeugung Hertzscher Wellen[2]). Diese Vorrichtung hat den Zweck, außerordentlich schnelle

[1]) E. T. Z. 1905, S. 382.

[2]) Electrical Review (New York) Bd. 44, S. 600.

Digitized by Google

Unterbrechungen des Stromkreises einer mit dem Strahldraht verbundenen Quelle elektrischer Energie hervorzurufen und somit die Funkenstrecke zu beseitigen. Dieses Ergebnis wird dadurch erhalten,

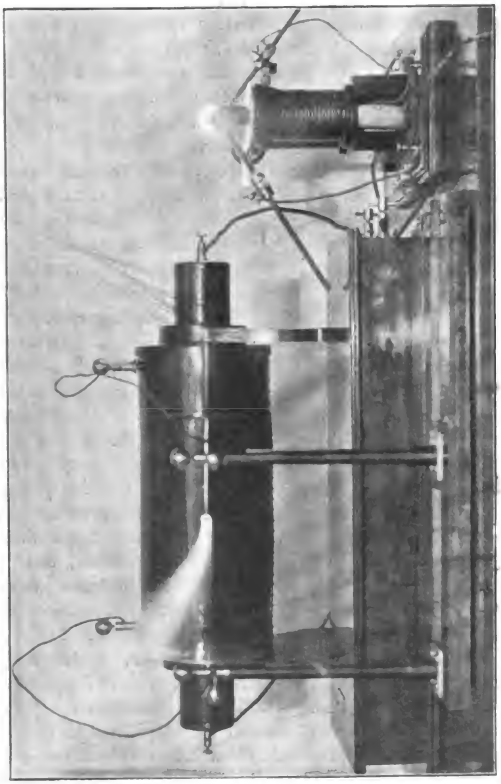


Fig. 98.

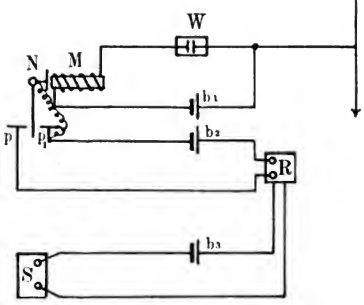
daß man die Unterbrechungen in einem so weit als möglich luftleer gemachten Raum sich vollziehen läßt. Eine Selbstinduktionsspule wird z. B. mit dem einen Ende einer Dynamomaschine verbunden. Das andere Ende dieser Spule steht einesteils mit dem Luftdrahte, andern-

Digitized by Google

teils mit einem Stück weichen Eisens in Verbindung, welches an dem Ende einer Feder befestigt und in einer Röhre untergebracht ist, die luftleer gemacht wird. Dieser Anker spielt die Rolle eines gewöhnlichen Unterbrechers. Der andere Pol der Dynamomaschine ist einesteils mit der Erde, andernteils mit einer in die Röhre eindringenden Elektrode verbunden und normal in Kontakt mit dem Unterbrecher. Sowie der Stromkreis der Dynamomaschine geschlossen wird, tritt der Unterbrecher in Wirksamkeit. Die im luftleeren Raume hervorgerufenen Unterbrechungen erzeugen Schwingungen des Extrastromes von sehr hoher Spannung und sehr kurzer Dauer.

Mc Nicols Empfangseinrichtung zur Demonstration der Wirkung der verschiedenen Wellenanzeiger[1]). Um das Arbeiten aller jener Wellenanzeiger, durch welche die einlangenden Signale in einem Mikrophonempfänger wiedergegeben werden, zu veranschaulichen, bedient sich Nicols der nachstehend beschriebenen Anordnung, durch welche es möglich wurde, den Mikrophonempfänger als eine Art primäres Relais zu verwenden, ohne dessen Empfindlichkeit zu schwächen, und nebstbei ein hörbares und wenn erfordert auch ein in Morsezeichen schriftlich niedergelegtes Signal zu erhalten. In der Fig. 99 stellt L den Luftleiter, W den Wellenanzeiger, M den Mikrophonempfänger, R ein gewöhnliches Morserelais, S einen Klopfer (Sounder) und b_1, b_2, b_3 Ortsbatterien dar. An die Membrane des Mikrophonempfängers ist eine starre Stahlnadel festgelötet, welche sich bei dem Schwingen der Membrane zwischen den beiden mikrometrisch einstellbaren Punkten p p_1 hin und her bewegt. Durch Anlegen der Nadel an den Punkt p werden die Stromkreise des Relais R und des Klopfers S, letzterer indirekt geschlossen und hierdurch die Signale, welche sonst

Fig. 99.



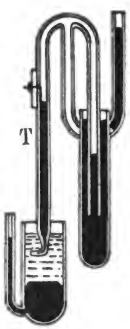
[1]) E. W. Bd. 45, S. 766.

Digitized by Google

nur dem Empfangenden, der das Telephon ans Ohr hält, vernehmbar sind, auch in einem größeren Saale hörbar. Die Einrichtung soll allen Anforderungen für Demonstrationszwecke bestens entsprechen.

Neuer Empfangsapparat zur Aufzeichnung der einlangenden Nachrichten[1]). Dieser Empfänger beruht auf der bekannten Erscheinung, daß sich die Oberflächenspannung zwischen Quecksilber und Schwefelsäure unter der Einwirkung einer Potentialdifferenz ändert. Fig. 100 stellt einen Vertikalschnitt des Apparates dar. T ist eine Quecksilber enthaltende Röhre, deren eines Ende zu einer Kapillarröhre ausgezogen und horizontal abgebogen wurde. Dieser Teil der Röhre ragt in ein mit Schwefelsäure gefülltes Gefäß. Am Boden dieses Gefäßes befindet sich Quecksilber, welches die elektrische Verbindung sichert. Der Strom wird dem Quecksilber durch einen in das Glas eingeschmolzenen Platindraht zugeführt. Der übrige Teil der Einrichtung hat das Niveau des Quecksilbers in der Glasröhre T in der Weise zu regulieren, daß die Berührungsfläche zwischen dem Quecksilber und der Schwefelsäure in der Röhre genau in der Mitte des horizontalen Teiles der Kapillarröhre liegt. Sobald jedoch eine Spannungsdifferenz zwischen dem Quecksilber und dem Elektrolyten entsteht, ändert die Trennungsfläche ihren Platz und nähert oder entfernt sich je nach der Stromrichtung zur bezw. von der Spitze der Kapillarröhre. Sobald diese Differenz verschwindet, stellt sich die Trennungsfläche genau wieder an ihren ursprünglichen Platz. Diese Einrichtung läßt sich nun zur Aufnahme der Morsezeichen verwenden. Es genügt, mittels eines Apparates das vergrößerte Spiegelbild des sich verlängernden und verkürzenden Quecksilberfadens auf einen sich bewegenden Streifen lichtempfindlichen Papiers zu werfen. Die auf diese Weise erhaltenen Zeichen sind außerordentlich scharf, leicht zu lesen und jenen des Siphonrekorders vorzuziehen.

Fig. 100.



Im praktischen Gebrauch geht kein Strom durch den Apparat. Seine Wirkung läßt sich eher durch eine Polarisation an der Oberfläche des Elektrolytes erklären. Für dies genügt eine außerordentlich geringe Energiemenge (ungefähr $^1/_3$ Volt für einen Widerstand von 1 Megohm). Die große Empfindlichkeit macht diesen Apparat für die

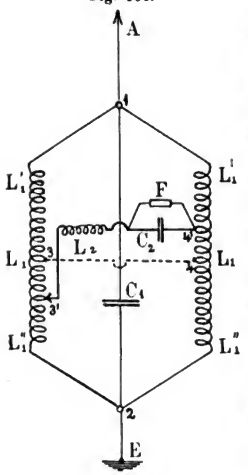
[1]) E. R., 9. August 1904.

Digitized by Google

Kabeltelegraphie sehr wertvoll. Er gestattet mit einer zweimal so großen Geschwindigkeit über die transatlantischen Kabel zu telegraphieren wie bisher, und auf langen Ueberlandlinien, welche teilweise Luft- und teilweise Kabelleitungen haben, 360 Worte in der Minute zu entsenden. Er kann auch als Empfänger für die drahtlose Telegraphie verwendet werden, zu welchem Zwecke er mit dem Fritter in Serie geschaltet wird. Als Beispiel für die Empfindlichkeit dieses Instrumentes dient folgendes Experiment: Bringt man ein Diapason vor ein mit diesem Empfänger verbundenes Telephon, so zeichnet der Empfänger alle Schwingungen des Diapasons auf.

J. Hettingers Schaltung zur maximalen Ausnützung der Resonanzwirkung in den Empfängeranordnungen für drahtlose Telegraphie[1]). Zweck der Resonanz in der drahtlosen Telegraphie ist 1. die Empfindlichkeit des Empfängers zu steigern und 2. die Auswahl der Telegramme möglichst zu sichern. Die folgende Schaltung erstrebt hauptsächlich, durch Erhöhung der Resonanzwirkung die Sicherheit der Ausscheidung nicht zugehöriger Nachrichten innerhalb der erreichbaren Grenzen auf das Maximum zu bringen.

Fig. 101.



Zu diesem Zwecke ist (Fig. 101) das untere Ende des Luftdrahtes an zwei Selbstinduktionsspulen angeschlossen. Die Größen $L_1 L_1'$ und $L_1 L_1''$ sind hierbei gleichwertig gehalten. Die Endpunkte dieser Spulen werden bei 2 vereinigt und zur Erde E abgeleitet. Arbeitet die Empfangsstation mit einer ganz bestimmten Wellenlänge, so haben $L_1 L_1'$ bezw. $L_1 L_1''$ solche Werte zu besitzen, daß sie im Vereine mit dem Luftdrahte 1 A in einer entsprechenden Viertelwellenlänge schwingen. Die Erfüllung dieser Bedingung entspricht einem ersten Resonanzeffekt. Die zwischen 1 und 2 herrschende E.M.K. wird zu einem Maximum.

Ist zu den Selbstinduktionsspulen $L_1 L_1$ eine Kapazität C_1 parallel

[1]) Ph. Z. 1905, S. 377.

Digitized by Google

geschaltet und entsprechen die beiden Größen Selbstinduktion und Kapazität der Resonanzbedingung: $m^2 C_1 \frac{L_1}{2} = 1$, worin $m = 2\pi n = \frac{2\pi}{T}$ und T die Zeitperiode der oszillatorischen Fernströme bedeutet, so wird dadurch ein zweiter Resonanzeffekt erzielt. Es wachsen sohin die in den parallelgeschalteten Zweigen zirkulierenden Ströme zu Maxima an.

Zwischen einer Windung der einen Selbstinduktionsspule L_1 und irgend einer Windung der anderen Selbstinduktionsspule herrscht eine bestimmte E.M.K. von bestimmter Frequenz ($m = 2\pi n$). Schaltet man zwischen zwei solchen Punkten 3, 4 eine Selbstinduktion L_2 und eine Kapazität C_2 und sind deren Werte so bemessen, daß der Resonanzformel $m^2 C_2 L_2 = 1$ wieder Genüge geleistet wird, so erzielt man einen dritten Resonanzeffekt. L_2 und C_2 sind, je nachdem der zur Anwendung gelangende Wellenanzeiger auf Spannung oder Strom anspricht, entweder in Serie oder parallel zu schalten. Im ersten Falle steigen die Teilspannungen, im zweiten Falle die Teilströme zu respektiven Maxima an. Dem Wellenanzeiger F ist hierbei selbstverständlich ein entsprechender und praktisch zulässiger Platz anzuweisen. Im vorliegenden Falle wurde er parallel zu C_2 gezeichnet.

Diese dreifache Ausnützung des Resonanzprinzipes ermöglicht die spitzeste Resonanzkurve für die Betätigung des Wellenanzeigers. Von praktischem Nutzen kann dies jedoch nur unter Anwendung eines Kunstgriffes werden.

Um den Wellenanzeiger durch Fernströme zu betätigen, ist ein Strom- oder Spannungsminimum erforderlich. Unterdrückt man die Amplitudenwerte der Resonanzkurve gleichmäßig, bis der maximale Abstimmungswert dem nötigen Wirkungsminimum gleich wird, so erreicht man die maximal mögliche Sicherheit der Selektion.

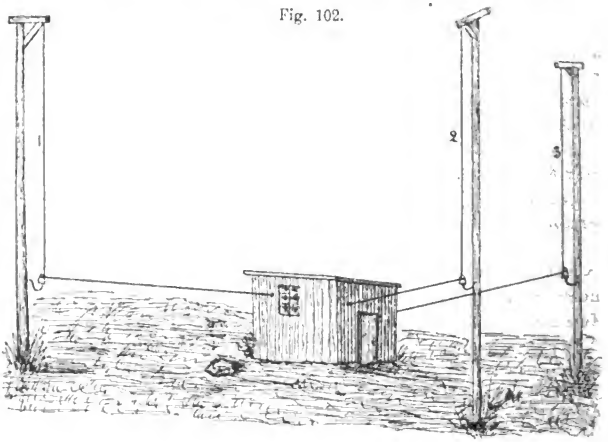
Dieses Minimum läßt sich nun bei der vorgeführten Schaltung leicht herausfinden. Die zwei Selbstinduktionsspulen L_1 L_1 sind einander in jeder Beziehung gleichwertig und außerdem symmetrisch angeordnet. Es muß daher in je zwei genau gegenüberliegenden Windungen das gleiche Potential herrschen und sonach auch der gleiche Strom fließen. Wird die aus C_2 L_2 und dem Wellenanzeiger gebildete Brücke zwischen zwei solchen Punkten eingeschaltet, so ist die zwischen 3 und 4 herrschende Potentialdifferenz und der durch die Brücke fließende Strom gleich Null. Zwecks Regulierung der wirksamen E.M.K. geht man von einer Nullage aus und schaltet immer je eine Windung rechts nach oben aus und links nach unten ein, so daß die Diagonale fort-

Digitized by Google

während steiler ansteigt. Die zur Brücke parallel befindlichen Zweige 3′, L_1′, 1, L_1′, 4′ und 3′, L_1″, 2, L_1″, 4′ behalten infolgedessen immer ihre Werte bei, wogegen die Potentialdifferenz zwischen 3′ 4′ nach Belieben vergrößert werden kann. Das Minimum, bei welchem der Wellenanzeiger in Tätigkeit tritt, läßt sich auf diese Weise leicht herausfinden und die Kontrolle, daß man tatsächlich in der Nähe dieses Minimums arbeitet, ebenso leicht ausführen.

Gerichtete drahtlose Telegraphie nach Prof. Dr. Ferdinand Braun[1]). Die Methode von Braun zur Lenkung der Wellen

Fig. 102.



in eine bestimmte Richtung beruht auf der Möglichkeit, zwei elektrische Oszillationen von gleicher Amplitude und Frequenz zu erzeugen, die jedoch in Phase um Teile von einer Millionstelsekunde verschoben sind. Nachdem verschiedene Methoden zur Erreichung dieses Zweckes ersonnen waren, wurde für Zwecke der Feststellung der Richtigkeit der Voraussetzungen eine Versuchsstation errichtet, deren Bild Fig. 102 gibt. Der Sender als solcher bestand aus drei hölzernen Masten, welche in genauem gegenseitigem Abstande von 30 m, also in Form eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet waren. Von jedem der Maste ging ein isolierter Draht bis nahe zum Boden und wurde dann in die Hütte

[1]) Elektrotechnische und Polytechnische Rundschau 1905, 1. November.

Digitized by Google

eingeführt, in welcher sich die Vorrichtungen zur Erregung der elektrischen Schwingungen befanden, welche auf diese Drähte in entsprechender Weise übertragen wurden. Die Grundlage der Methode ergibt sich nun aus folgender Betrachtung: Die beiden Drähte 1 und 2 erhalten vollständig gleiche Oszillationen, während die dem Drahte 3 aufgedrückten Schwingungen in der Phase ein wenig hinter den beiden anderen Oszillationen zurückbleiben. Diese Phasendifferenz läßt sich nun so bemessen, daß die von 3 ausgehenden Wellen, die von 1 und 2 ausgehenden Wellen infolge Interferenz vollständig aufheben. Wird hingegen der Draht 3 in Schwingungen versetzt, deren Phase gegen jene der Schwingungen 1, 2 um den gleichen Betrag voreilt, so werden die von 1 und 2 ausgehenden Wellen verstärkt. Es wird auf diese Weise möglich, die von 3 gegen 1 und 2 verlaufenden Wellen nach Willen entweder ganz zu unterdrücken oder zu verstärken. Die diesfällig bei den Versuchen erhaltenen Ergebnisse stimmen auch genau mit der Theorie überein. Es ist nun durch diese Anordnung ein Mittel gegeben, die Wellen in eine ganz bestimmte Richtung zu lenken, indem alle Wellen, welche nicht in dieser Richtung auslaufen, einfach unterdrückt werden. Dies soll schon mit fünf solcher lotrechter Maste, welche sich genau in der bestimmten gegenseitigen Lage befinden, vollkommen erreicht werden. Wiewohl diese Methode der Lenkung der Wellen praktisch noch nicht ausgestaltet ist und es sicher noch einer Reihe von Verbesserungen und Ergänzungen bedarf, um diese Errungenschaft auch für den wirklichen Telegraphenverkehr nutzbar zu machen, hält Prof. Braun diese Frage bereits für vollkommen gelöst und ist der Ansicht, daß sich die praktischen Schwierigkeiten leicht überwinden lassen werden.

Das System einer gerichteten drahtlosen Telegraphie von Prof. Allesandro Artom[1]). Die elektromagnetische Theorie des Lichtes ließ erkennen, daß die längeren elektrischen Wellen genau den gleichen Gesetzen folgen wie die kürzeren Lichtwellen. Artom kam nun sehr bald nach den ersten Versuchen Marconis zur Nachrichtenübertragung mittels elektromagnetischer Wellen auf den Gedanken, daß das Prinzip des rotierenden magnetischen Feldes, welches in der Optik seinen Ursprung fand, logisch auch auf die durch elektrische Oszillationen hervorgerufenen Erscheinungen angewendet werden könne. Er suchte daher nach Mitteln, um durch passende elektrische Schwingungen kreisförmig oder elliptisch polarisierte Strahlen elektrischer Kraft zu erzeugen, welche entsprechend der von Prof. Righi

[1]) E. W. Bd. 45, S. 762.

Digitized by Google

gegebenen Theorie, sich den Eigenheiten des elektrischen und magnetischen rotierenden Feldes anpassend, in einer bestimmten Richtung fortpflanzen müssen.

Nach langen, mühsamen Versuchen gelang es nun Artom, experimentell eine Methode zur Erzeugung kreisförmig und elliptisch polarisierter Wellen auszubilden und so die Eigenschaften dieser Wellen viel genauer zu bestimmen, als dies auf Grund der Theorie des rotierenden magnetischen oder elektrischen Feldes möglich gewesen wäre.

Nachdem der Weg zur Erzeugung kreisförmig und elliptisch polarisierter Wellen gefunden war, ging Artom daran, diese Wellen für die drahtlose Telegraphie auszunutzen, da nach seiner Ansicht die Anwendung solcher Wellen für den gedachten Zweck, sowohl vom theoretischen als auch vom praktischen Standpunkte folgende Vorteile bieten müßte: 1. ein kräftigeres elektromagnetisches Feld in einer bestimmten Richtung zu erzeugen; 2. eine vollkommenere Abstimmung zu erreichen, und 3. die Wellen durch ein System von Empfangleitern passender Form und Anordnung, die in der Strahlungsrichtung gelegen sind, besser zu sammeln und daher auch besser auszunutzen.

Zirkular und elliptisch polarisierte elektrische Strahlen wurden bereits von Zehnder[1]) im Jahre 1894 erhalten. Er bediente sich hierzu zweier plan polarisierender Gitter, die aus einer Anzahl paralleler, an einem Rahmen befestigter Drähte bestanden. Diese wurden in geringer Entfernung parallel zueinander so aufgestellt, daß sich die Drähte kreuzten. Sehr nahe zueinander gebracht, wirken diese beiden Gitter wie ein Drahtnetz, welches jede Art polarisierter Strahlen gleichmäßig reflektiert. Sind jedoch die sich kreuzenden Drähte den achten Teil einer Wellenlänge voneinander entfernt und liegt die Ebene der einfallenden Strahlen 45° geneigt zu den Drähten, so sind die zurückgeworfenen Strahlen zirkular polarisiert, wogegen ein Wechsel in der gegenseitigen Lage der Drähte die elliptische Polarisation bedingt. Solcherart polarisierte Wellen können aber auch durch Refraktion der einlangenden Strahlen durch hölzerne Prismen erzeugt werden, doch ist es augenscheinlich, daß die auf diese Weise zu erhaltenden Wellen wegen der hierbei stattfindenden großen Absorptionsverluste praktisch nicht verwertbar sind.

Die Methode von Artom zur unmittelbaren Erzeugung zirkular oder elliptisch polarisierter Wellen besteht nun darin, daß ein oder mehrere oszillatorische Entladungen von verschiedener Phase und ver-

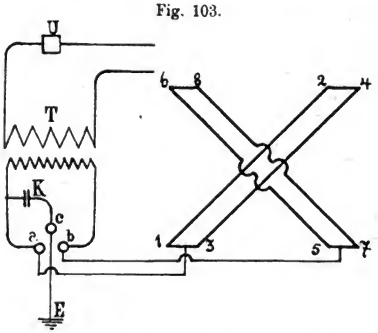
[1]) Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg 1894.

Digitized by Google

schiedener Richtung hervorgerufen und vereinigt werden. Hierdurch werden die Energieverluste so gering, daß diese Strahlungen für Zwecke der drahtlosen Telegraphie ausgenützt werden können.

Fig. 103 stellt eine Anordnung zur Erzeugung eines kompakten Strahlenkegels nach dieser Methode dar. Die primäre Windung des Induktors T wird von einer Gleichstromquelle gespeist. Der in die Zuleitung eingeschaltete Unterbrecher U ist am besten ein solcher der Wehneltype. Die beiden Enden der Sekundärspule sind mit zwei Funkenkugeln a b verbunden. Eine dritte Funkenkugel c wird über eine passende Selbstinduktion oder einen kleinen Kondensator K von einer Seite des sekundären Kreises abgezweigt. Die drei Funkenkugeln bilden die Scheitelpunkte eines gleichschenkeligen Dreiecks.

Fig. 103.



Durch diese Anordnung werden zirkular oder elliptisch polarisierte elektromagnetische Wellen erzeugt. Um diese Wellen zur Durchsetzung des Raumes zu zwingen, sind Luftdrähte anzuwenden, die mit den Funkenkugeln in entsprechender Weise verbunden werden. Wie aus der Zeichnung hervorgeht, werden vier Luftdrähte, wovon je ein Paar das andere im rechten Winkel kreuzt, verwendet. Die Luftdrähte 1 2 und 3 4 sind sowohl unter sich, als auch mit der Funkenkugel a, die Luftdrähte 5 6 und 7 8 in gleicher Weise mit der Funkenkugel b, die Funkenkugel c hingegen mit der Erde verbunden. Die Luftdrähte sind in nahezu der gleichen senkrechten Ebene angeordnet.

Der wesentliche Teil dieser Neuerung liegt darin, daß elliptisch oder zirkular polarisierte elektromagnetische Wellen unmittelbar erzeugt und in eine vorher genau bestimmte Richtung übertragen werden und daß sich kreisende Wirkungen rings herum dieser Richtung bemerkbar machen, welche leicht an dielektrischen Materialien passender Zusammensetzung zu beobachten sind, und daß es möglich ist, diese Wirkungen zu verstärken. So können zum Beispiele mehrere ähnliche Systeme mit drei oder mehr Funkenkugeln so angeordnet werden, daß jedes

Digitized by Google

dieser Systeme von einem eigenen unabhängigen Induktorium gespeist wird, oder es können auch die Induktorien verschiedener Systeme elektrisch miteinander verbunden werden. Es besteht sonach die Erzeugung elliptisch polarisierter Wellen im wesentlichen darin, daß disruptive Entladungen zwischen mehreren Funkenkugeln, die an den Scheitelpunkten eines Dreiecks angeordnet sind, hervorgerufen werden, wobei der den Funkenkugeln zugeführte Strom in der Phase differiert und ebenso die disruptiven Entladungen entsprechend der verschiedenen Lage der Funkenkugeln nach verschiedenen Richtungen erfolgen.

Der große Vorteil des Gebrauchs solcher elektrischer Wellen liegt in der Entsendung von Strahlungen, die in einem zusammengedrängten Kegel oder in einer Ebene nur nach einer Richtung hinausgehen, welche senkrecht zur Ebene der Funkenkugeln und zur Ebene der Luftdrähte steht. Es sind sonach die beiden letzteren Ebenen parallel. Hierdurch ergibt sich gegenüber den dermaligen Anordnungen, bei welchen die Strahlen sich gleichmäßig und gleichzeitig nach allen Richtungen ausbreiten, eine große Energieersparnis.

Dieser Strahlenkegel wird direkt, ohne Reflexion und Refraktion, erzeugt und in die gleiche Richtung gelenkt, in welcher er erregt wurde, so daß hierdurch keinerlei Energieverlust statt hat. Hierdurch erhält die empfangende Station die Signale rein und ausgesprochen, wogegen alle anderen Stationen, welche nicht in der oder nahe an der direkten Linie zwischen den beiden Stationen liegen, entweder gar nicht beeinflußt werden, selbst wenn die Wellen von großer Stärke sind, oder nur konfuse, nicht entzifferbare Signale erhalten.

Die Richtigkeit dieser Ansichten wurde durch in den Jahren 1903 und 1904 teilweise im Vereine mit der königl. italienischen Kriegsmarine durchgeführte Versuche erwiesen. Die letzten Versuche, welche in den Monaten August, Oktober, November und Dezember 1904 angestellt wurden, endeten mit einem vollen Erfolge. Sie fanden zwischen den Stationen Monte Mario in Rom und der Station auf der Insel Maddalena auf eine Entfernung von 260 km teilweise im Beisein von Sachverständigen statt. Maddalena erhielt die von Rom entsendeten Nachrichten klar und deutlich, wogegen die nur 120 km entfernte, aber seitlich der Strahlenrichtung gelegene Station Ponza keinerlei Nachrichten aufzunehmen vermochte. Wurde umgekehrt der Strahlenkegel nach Ponza gelenkt, so versagten die Signale auf Maddalena, selbst wenn die aufgewendete Energie verdreifacht wurde.

Es wurde hierbei außerdem noch festgestellt, daß es mit der Einrichtung von Artom möglich ist, die Länge der Luftdrähte erheblich

Digitized by Google

zu verkürzen. So wurde bei den erwähnten Versuchen mit Drähten gearbeitet, die sich nur 30 m vom Boden erhoben.

Bei diesen Versuchen gelangte als primäre Energiequelle Gleichstrom zur Anwendung, da die Verhältnisse die Verwendung eines Induktoriums bedingten. Durch Verwendung eines einen Transformator speisenden Wechselstromes würden noch empfindlichere Wirkungen der Lenkung zu erhalten gewesen sein, weil sich die Erzeugung der zusammengesetzten Wellen viel regelmäßiger und vollständiger vollzogen hätte. Außerdem wurden die gesamten Versuche mit rein provisorischen Einrichtungen durchgeführt, wogegen es außer Zweifel steht, daß mit Einrichtungen, in welchen die Einzelheiten mit größerer Sorgfalt ausgearbeitet worden wären, immer bessere und bessere Ergebnisse hätten erhalten werden müssen.

Aus alledem zieht sich der Schluß, daß mit Einführung der Artomschen polarisierten Strahlen in die drahtlose Telegraphie die Möglichkeit gegeben ist, eine größere Menge von Energie in eine vorausbestimmte Richtung zu übertragen und so auch eine größere Unabhängigkeit des Arbeitens zwischen verschiedenen Stationen zu erreichen als bisher.

Eine vollkommene gegenseitige Abstimmung und damit verbundene unbedingte Geheimhaltung der Nachrichten ist damit noch nicht erreicht, da ja alle innerhalb des Bereiches des sich mit zunehmender Entfernung immer mehr ausbreitenden Strahlenkegels gelegenen Stationen ebenfalls beeinflußt werden und daher mitzulesen in der Lage sind. Doch bedeutet schon das Erreichte wieder einen wesentlichen Schritt nach vorwärts.

Ueber die Theorie dieser Einrichtung spricht sich Artom in einem Berichte an die Accademia dei Lincei vom 15. März 1905 folgendermaßen aus:

Prof. Righi wies analytisch nach, daß das Zusammenwirken zweier rechtwinkliger elektrischer Schwingungen von gleicher Weite, gleicher Frequenz und einer Phasenverschiebung um $^1/_4$ Wellenlänge, zur Erzeugung von Schwingungen mit rotierender Polarisation führen muß. Sind die theoretischen Bedingungen vollkommen erfüllt, so müssen sich kreisförmige polarisierte Wellen ergeben, die sich in einer bestimmten Richtung fortpflanzen. Diese Richtung findet sich, wenn man auf die Ebene, in der sich die Schwingungen vollziehen, eine zu ihr senkrechte Mittelachse errichtet.

Um nun diese Anordnung für Zwecke der Funkentelegraphie praktisch verwertbar zu machen, stützte sich Artom auf eine Eigenschaft der zur Hervorbringung rotierender magnetischer Felder dienenden Wechselstromkreise und begründet die Berechtigung, diese Eigen-

Digitized by Google

schaft mit ausreichender Genauigkeit auch auf Stromkreise mit oszillatorischen Strömen auszudehnen, wie folgt:

Es seien zwei Strecken M N und N P (Fig. 104) von ein und demselben Wechselstrom durchflossen und die Anordnung so getroffen, daß die Ströme in M N und N P gleiche Intensität ($J_a = J_b$) haben, aber in ihren Phasen um $\frac{\pi}{2}$ verschoben sind, indem man parallel zu N P einen Kondensator von entsprechendem Werte schaltet. Ist die Potentialdifferenz zwischen den Enden N P gleich V und wird sie

Fig. 104.

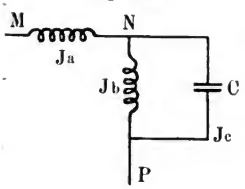
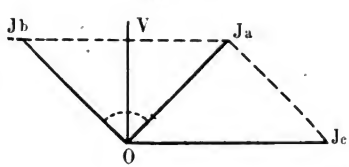


Fig. 105.



(Fig. 105) durch O V dargestellt, dann muß J_c durch eine auf O V senkrecht stehende Linie vom Werte $2\pi n C V$ dargestellt werden. Ist r_2 der Ohmsche Widerstand und L_2 die Selbstinduktion von N P, so gilt die Gleichung

$$J_b = \frac{V}{\sqrt{r_2^2 + 4\pi^2 n^2 L_2^2}},$$

J_b wird außerdem mit Bezug auf V noch durch die Selbstinduktion des Winkels arc tg $\frac{2\pi n L_2}{r_2}$ verzögert. Ist

$$2\pi n L_2 = r_2, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

so ist der Winkel gleich 45°.

Aus Fig. 105 ergibt sich weiters, daß J_a, d. i. die Resultante von J_c und J_b, effektiv gleich J_b wird und gegen diese um 90° verschoben ist, wenn

$$J_c = 2 J_b \cos 45^0$$

oder

$$2\pi n C V = \frac{2V}{\sqrt{r_2^2 + 4\pi^2 n^2 L_2^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

oder auch nach Gl. (1)

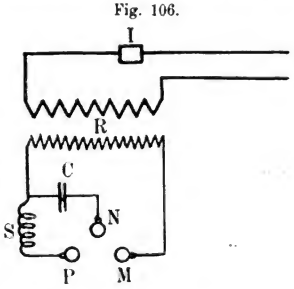
$$4\pi^2 n^2 L_2 C = 1. \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Digitized by Google

Nach Gl. (2) muß der Stromkreis N C P den Bedingungen des Synchronismus und der Resonanz genügen. Treffen die Gl. (1) und (2) zu, so muß das von J_a und J_b erzeugte Feld ein rotierendes Feld sein, wenn die von ihnen ausgehenden Bewegungen rechtwinklig sind.

In Fig. 106 sind M, N, P, drei Leiter einer Funkenstrecke, so verteilt, daß sie an den Ecken eines rechtwinkligen Dreiecks mit gleichen Katheten zu liegen kommen. Wird nun zur Vereinfachung der Rechnung angenommen, daß sich die Entladung nach dem Sinusgesetze vollzieht, so läßt sich nach den vorstehenden Erläuterungen die Anordnung so treffen, daß die zwischen M und N verlaufenden Oszillationen gleiche Werte haben und um 90° gegeneinander verschoben sind, wodurch den Bedingungen der Gl. (1) und (2) genügt ist. C ist hierbei eine Kapazität und S eine Selbstinduktion.

Fig. 106.



Die durch Gl. (1) dargestellte Bedingung ist, wenn es sich um die in der Industrie gebräuchlichen Wechselströme handelt, von großer Bedeutung, wogegen sie hier wegen des oszillatorischen Charakters der Entladung zwischen N und P weniger von Belang ist. Es empfiehlt sich daher für die Erreichung des Zweckes die Widerstandsverhältnisse so zu regeln, daß der gewöhnlich 0,8 Ohm betragende Widerstand der Funkenstrecke den größten Teil von r_2 ausmacht. Der Wert $L_2 = \frac{r_2}{2\pi n}$ für hohe Frequenzen ergibt sich ohne weiteres.

Die Gl. (1) läßt sich daher mit guter Annäherung auch dann anwenden, wenn sich die Entladung nicht nach dem Sinusgesetz vollzieht. Sowie den Gl. (1) und (2) genügt ist, erhält man bei geringen Werten von C und S zwei Entladungen von gleicher Weite, von denen die eine (M N) als von einem primären Oszillatorkreise, die andere (N P) von einem Resonator herrührend, angesehen werden kann.

Um sich zu überzeugen, ob das von diesen beiden Oszillationen erzeugte Feld die theoretisch abgeleiteten Eigenschaften hat, stellte Artom Versuche an, wobei er sich bezüglich des magnetischen Feldes darauf beschränkte, die Ströme zu beobachten, die in Solenoiden hervorgerufen wurden, welche in verschiedenen Stellen des Feldes auf-

Digitized by Google

gehängt waren. Von der Untersuchung mechanischer Wirkungen wurde aus dem Grunde Umgang genommen, weil die Effekte der magnetischen Hysteresis durch die angewendeten hohen Frequenzen vernichtet wurden. Die Effekte des rotierenden elektrischen Feldes waren dagegen sehr gut zu beobachten. Leichte Glasglocken auf feinen Glasspitzen rotierten, wenn sie 20—30 cm von dem Oszillator aufgestellt wurden. Bei Aenderung der Verbindungen in der Weise, daß M N an Stelle von N P Resonanzstromkreis wurde, kehrte sich auch die Drehrichtung der Glasglocken um.

Das auf diese Weise entstehende elektromagnetische Feld ist infolge des Streuens der Funkenstrecke ein sehr komplexes, doch läßt sich durch Hinzufügen von zwei gleich langen und in der bereits angegebenen Weise gekreuzten Luftdrähten mehr Regelmäßigkeit hineinbringen. Besser ist es noch, zwei Systeme von Luftdrähten zu verwenden. Diese Drähte sind dann der Ausgangspunkt von zwei Schwingungen gleicher Weite mit $^1/_4$ Wellenlänge Phasenverschiebung und erzeugt das Zusammenwirken beider Schwingungen elektromagnetische Schwingungen mit rotierender Polarisation, die sich in der Richtung der im Kreuzungspunkte der beiden Luftdrähte oder Systeme von Luftdrähten gelegenen, zu deren Ebene senkrechten Achse fortpflanzen.

Rotierende Felder lassen sich aber auch dann erhalten, wenn bei gleicher Amplitude die Phasendifferenz φ statt $\frac{\pi}{2}$ ist. Es genügt demnach, die Sendedrähte im Winkel $\pi - \varphi$ zu kreuzen, um noch Schwingungen mit rotierender Polarisation zu erhalten.

Das System der drahtlosen Telegraphie von Heinicke[1]). Bei diesem Systeme wird für den Empfänger die bekannte Schäfersche Platte als Wellenanzeiger verwendet und unterscheidet sich die sonstige Anordnung der Empfangseinrichtung von den gebräuchlichen Anordnungen nicht. Die Neuerung bezieht sich hier nur auf die Anordnung des Senders, der in schematischer Anordnung in Fig. 107 dargestellt erscheint. Die Sekundäre des Induktors J (Fig. 108) führt über zwei Funkenstrecken f_1 f_2 zu den zwei Heinickeschen Transformatoren C_1 C_2, welche aus Metallzylindern bestehen, auf welche in einer oder auch mehreren Lagen gut isolierter Draht aufgewickelt ist. Die Enden dieser Windungen stehen mit je einem kleinen Kondensator c_1 c_2 in Verbindung und führt ferner das zweite Ende des Wicklungsdrahtes an den Sendedraht L, bezw. an die Erde E. Zwischen diesen beiden

[1]) E. T. Z. 1905, S. 851.

Digitized by Google

befindet sich die Haupt- oder Erregerfunkenstrecke f. Die beiden anderen Funkenstrecken üben auf den Schwingungsvorgang im eigentlichen Sendekreis keinen Einfluß aus.

Betrachtet man diese Einrichtung etwas genauer, so bietet sie, wie H. Brandes ganz richtig bemerkt, absolut nichts Neues, denn die Anwendung von Ladefunkenstrecken ist schon lange bekannt. Die beiden Hilfskondensatoren c_1 c_2, die auch ganz weggelassen werden können, erscheinen hier völlig zwecklos und bliebe sohin nur die Anordnung der Transformatoren C_1 C_2 als etwas Abweichendes zu betrachten. Diese Transformatoren spielen aber hier wohl kaum eine andere Rolle als die einfacher Kondensatoren, deren eine Belegung der

Fig. 107.

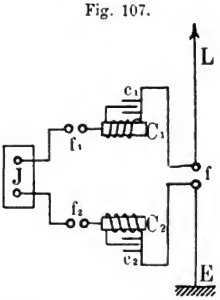
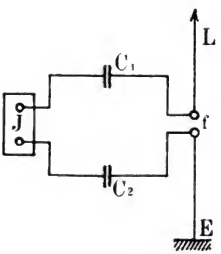


Fig. 108.



Metallzylinder, die andere Belegung die Seele des aufgewickelten Drahtes ist, wogegen die Drahtisolation das Dielektrikum darstellt. Die ganze Anordnung läßt sich ihrem Wesen nach viel übersichtlicher durch die Fig. 108 darstellen, welche nun wieder nichts anderes, denn ein Marconisender ist.

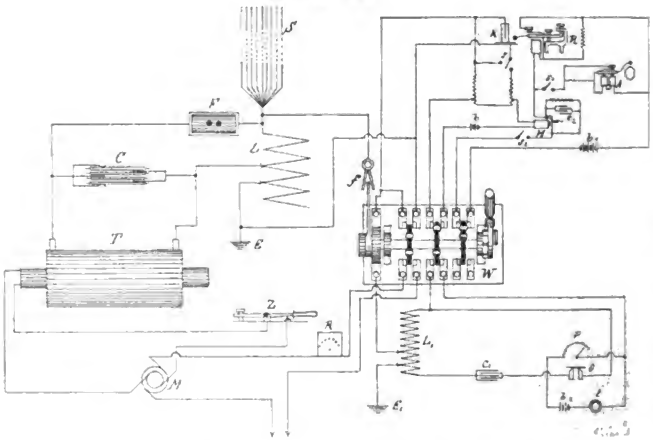
Heinickes[1]) Antwort auf diese Kritik seiner Erfindung beschränkt sich darauf, daß er erwähnt, es sei weder von ihm noch von jemand anderem etwas über sein System, welches bereits der Erprobung unterworfen wird, veröffentlicht worden, und beziehe sich die Kritik daher auf etwas nicht genau Bekanntes. Er behält sich die Veröffentlichung bis zum geeigneten Zeitpunkt vor und müsse es bis dahin unterlassen, auf den sachlichen Teil der Kritik einzugehen. Ehe daher ein entscheidendes Urteil über diese Neuerung abgegeben werden kann, muß diese Veröffentlichung abgewartet werden.

[1]) E. T. Z. 1905, S. 823.

Digitized by Google

Massies System der drahtlosen Telegraphie[1]). Die Sendeanordnung bei diesem Systeme weist keinerlei grundlegende Neuerung auf und schließt sich in ihrer Ausgestaltung den Einrichtungen an, welche sich im praktischen Betriebe am besten bewährt haben. Für Entfernungen bis zu 160 km wird zur Energieversorgung des Systemes ein Induktorium angewendet, über diese Entfernung hinaus wird der für diese Zwecke verwendete Transformator entweder unmittelbar von dem einer Zentrale entnommenen Strome gespeist, oder es gelangt eine kleine Wechselstrommaschine von 60 Wechseln

Fig. 109.



und einer Leistung von 25 Ampere und 120 Volt zur Verwendung. Ist der von der Zentrale eingelieferte Strom ein Gleichstrom, so wird er durch einen Motorgenerator in Wechselstrom von 60 Wechseln umgewandelt. Der Transformator mit einer Leistung von 2,5 Kilowatt transformiert die Spannung der eingelieferten 110 Volt auf 60000 Volt, welche dem Systeme zugeführt werden. Das eigentliche Sendersystem besteht aus einem regulierbaren Glasplattenkondensator in Verbindung mit einer Funkenstrecke, deren Stromkreis an die Windungen des eigentlichen Strahlkreises angeschlossen ist, so daß hier die galvanische Kopplung des

[1]) E. W. Bd. 46, S. 178.

Digitized by Google

Erregerkreises mit dem Strahlkreise zur Anwendung gelangt und ein Teil der Selbstinduktion beiden Kreisen gemeinsam ist. Die Leitungsverbindungen sind aus dem Stromlaufschema (Fig. 109) zu entnehmen.

Das wesentlich Neue dieser Einrichtung bildet bei diesem Systeme der Zeichenempfänger und eine Schaltwalze, bei welch letzterer der Anrufwecker, der Zeichenempfänger, der Transformator und der Motorgenerator mit nur einer Bewegung gleichzeitig aus- bezw. eingeschaltet werden.

Bei allen Einrichtungen, für welche ein Telephon als Zeichenempfänger zur Anwendung gelangt, muß der die Einrichtung Bedienende das Telephon, um nicht gelegentlich Nachrichten zu überhören, ständig am Ohre halten. Da dies jedoch für die Dauer nicht angeht, wird sich damit beholfen, bestimmte Zeiten festzulegen, zu welchen die Bedienenden beider Posten die Telegramme zu nehmen bezw. abzugeben haben. Dies ist als ein Nachteil des sonst so verläßlichen Telephonempfängers zu bezeichnen und die hauptsächliche Ursache, daß man so ungerne Gebrauch von ihm macht. Um nun diesen Uebelstand zu beseitigen, wendet Massie einen Anrufwecker an. Da nun ein solcher Anruf die Anwendung eines Fritters bedingt, so stellte sich gleich die Frage, ob nicht dessen Wirkung weiter ausgedehnt und für die Betätigung des Telephonempfängers nutzbar gemacht werden kann. Die Gründe, die hierfür sprechen, sind dreierlei, und zwar erfordert die Einstellung der Apparate nicht jene Genauigkeit wie bei Verwendung eines registrierenden Zeichengebers, läßt sich ferner die Geschwindigkeit der Uebertragung wesentlich vergrößern und wird endlich die Gefahr atmosphärischer Störungen bedeutend herabgemindert.

Der von dem Erfinder mit dem Namen Oszillophon bezeichnete Empfangsapparat besteht aus einer verbesserten Form des Mikrophonkontaktes in Verbindung mit einem Telephone. Eine Ansicht dieses Mikrophonkontaktes ist in Fig. 110 gegeben. Auf einem Bodenbrett ist ein Block B aus Hartgummi oder Schiefer aufgesetzt, in welchen an zwei einander gegenüberliegenden Seiten Falze zur Aufnahme der für diesen Wellenanzeiger benützten Kohlekontakte eingeschnitten sind.

Fig. 110.

Diese Kohlen K K sind flach, haben eine Länge von 3 cm, eine Breite von 1 cm und eine Stärke von 3 mm und werden durch gebogene Federn F F in ihrer gegenseitigen Lage festgehalten. Die unteren

Digitized by Google

Enden dieser Federn, welche gleichzeitig als Leiter dienen, stehen mit den Zuführungsklemmen in Verbindung. Die Kohlen werden aus fein gesiebter Kohle mit einem schweren Oele in der Weise hergestellt, daß die auf diese Weise erhaltene Masse in Formen gepreßt und sodann entsprechend erhitzt wird. Eine solche Kohle soll in ihren Eigenschaften den besonderen Anforderungen für die Kontaktgebung bestens entsprechen. Die oberen Enden dieser Kohlen sind messerartig abgeschrägt und werden durch eine auf diese aufgelegte Stahlnadel S verbunden. Wiewohl andere Metalle ebensogut verwendet werden

Fig. 111.

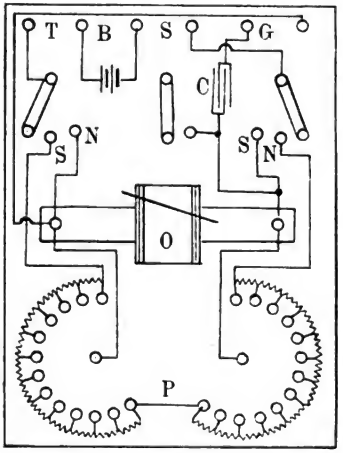


Fig. 111a.

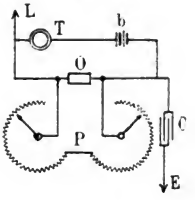
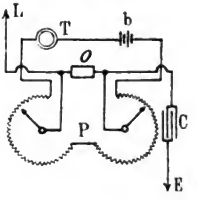


Fig. 111b.



können, wurde dem Stahl doch der Vorzug gegeben, weil er durch die Anziehungskraft eines Dauermagneten M festgehalten und so gegen zufällige Verschiebungen geschützt werden kann.

Der hierfür verwendete Hufeisenmagnet wird mit den Polen nach unten neben dem Blocke B so befestigt, daß dessen Kraftlinien nach Bedarf auf die die beiden Kohlen überbrückende Stahlnadel einwirken, und hat nur den Zweck, die Nadel in ihrer Lage auf den Kohlen festzuhalten. Eine unmittelbare Berührung dieser Nadel mit dem Magneten wird durch die zwei Hemmstifte h h verhindert. Bei der gewöhnlichen Form eines mikrophonischen Wellenanzeigers ist der die Kohlen über-

Digitized by Google

brückende Teil Schwingungen ausgesetzt und hat unter der Einwirkung des Ortsstromes die Neigung, sich längs der Kohlen zu verschieben, wodurch die Wirkung verschlechtert und die Zeichengebung ungenau wird. Diese Unannehmlichkeiten haben auch bisher die ausgedehntere Anwendung der mikrophonischen Wellenanzeiger ausgeschlossen. In dem Oszillophone wird die Nadel sanft gegen die Hemmstifte gezogen und dort festgehalten und ist hierdurch die Quelle der Störung beseitigt und die Empfindlichkeit vielfach erhöht. Fig. 111 stellt die Stromlaufverbindungen des Oszillophones schematisch dar. Der Widerstand dieses Wellenanzeigers beträgt in der Ruhelage annähernd 40 000 Ohm, welcher unter dem Einflusse der elektromagnetischen Wellen nach erfolgter Kohäsion auf ungefähr 700 Ohm herabsinkt. Das aus zwei Teilen bestehende Potentiometer P, welches in Abstufungen von 10 bezw. 150 Ohm gewunden ist, steht über einen Kondensator C von 0,1 Mikrofarad einesteils mit der Erde, anderenteils mit dem Luftdrahte in Verbindung. Der Kondensator kann durch einen Schalter ein- und ausgeschaltet werden. Das Oszillophon wird, wie dies die beiden kleineren Schemas (Fig. 111a und 111b) zeigen, entweder im Nebenschlusse oder in Serie geschaltet, und kann jede dieser Schaltungen nach dem jeweiligen Bedarfe zur Anwendung gelangen, zu welchem zwei mit S und N bezeichnete Schalter vorgesehen sind. Die Serienschaltung findet für weitere Entfernungen, die Nebenschlußschaltung hingegen dort Anwendung, wo geringere Entfernungen zu überwinden sind.

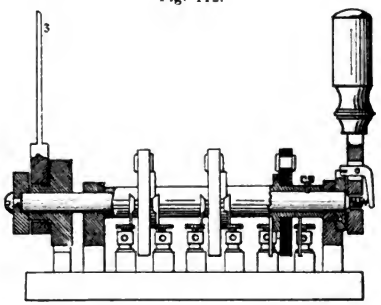
In einem durch den Walzenschalter ein- und auszuschaltenden gesonderten Stromkreis befindet sich die Anrufvorrichtung für den Bedienenden. Diese umfaßt eine geänderte Fritterform, einen Klopfer, ein Relais und eine Glocke. Der Fritter als solcher ist bereits auf S. 172 beschrieben. In der schematischen Darstellung der Leitungsverbindung (Fig. 109) bezeichnet M den Motorgenerator, R den Anlaßwiderstand, Z den Zeichengeber, T den Transformator, C den regulierbaren Kondensator und F die Funkenstrecke des über L geschlossenen Erregungskreises, S das auch für den Empfang mitbenutzte Sendegebilde, E E_1 die Erden, W den Walzenschalter, K den Fritter, H das Relais, R den Klopfer, A den Anrufwecker, b die Ortsbatterie, c_1 c_2 Kondensatoren, O das Oszillophon, P das Potentiometer, t das Telephon, b_2 die zugehörige Ortsbatterie, s s_1 s_2 Schalter zum Um- bezw. Ausschalten der verschiedenen lokalen Stromkreise.

Die Konstruktion des Walzenschalters ist aus der Seitenansicht und dem teilweisen Schnitt in Fig. 112 zu entnehmen und bedarf diese Darstellung wohl kaum einer Erklärung. Nur der Hebel 3 bedarf

Digitized by Google

einer Erläuterung. Er greift mit seiner messerartig zugeschliffenen Schneide zwischen zwei Metallfedern f (Fig. 109) und stellt die Verbindung des Luftleiters mit dem Empfangskreise her. Durch die gleichzeitige Ein- bezw. Umschaltung aller hierbei in Betracht kommenden Kreise, mit einer einzigen Verdrehung der Walze durch den wohlisolierten Handgriff, dessen zufällige Verschiebung durch eine Feder mit Klinke hintangehalten ist, wird auch die Sicherheit des Bedienenden gewährleistet. Diese einfache Umstellung beschleunigt aber auch die Abwicklung des Verkehrs, indem eine einzige Bewegung genügt, um die Station auf Sendung oder Empfang einzustellen.

Fig. 112.



Dieses System befindet sich schon seit mehr als einem Jahre im praktischen Betriebe und soll sich in diesem bestens bewährt haben. Die Empfindlichkeit des Oszillophones soll eine ganz außerordentliche sein und dadurch den drahtlosen Nachrichtenverkehr zu einem sehr sicheren gestalten.

Das System der drahtlosen Telegraphie von Murgas. Das wesentliche Merkmal der Anordnung von Murgas besteht darin, daß die Morsezeichen statt durch Punkte und Striche durch Töne verschiedener Höhe zum Ausdrucke gebracht werden. Als Empfänger dient ein Fernhörer und ist, um in diesem die verschiedenen Tonhöhen zum Ausdrucke zu bringen, beim Sender eine Einrichtung geschaffen, mittels welcher die Schwingungszahl des Sendekreises in bestimmter Weise verändert werden kann. Ursprünglich geschah dies durch zwei verschiedene Unterbrecher, die abwechselnd auf die gleiche Induktionsspule einwirkten. Jeder dieser Unterbrecher entsprach in der Anzahl der Unterbrechungen einem bestimmten Tone, der als solcher im

Digitized by Google

Empfänger zum Ausdrucke gelangte. Der Unterschied der Töne in Bezug auf die Höhe mußte ein ziemlich großer sein und wurde hierfür die Oktave gewählt. Diese beiden Unterbrecher befanden sich in ununter-

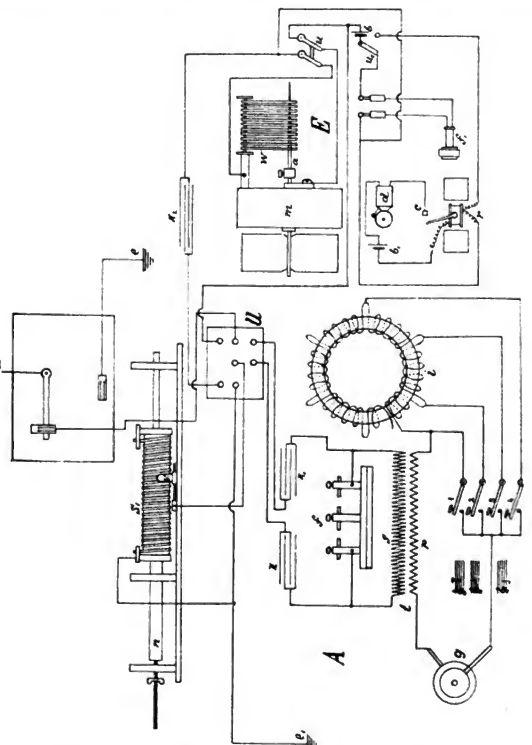


Fig. 113.

brochener Bewegung und wurden durch eine Doppeltaste je nach Bedarf abwechselnd in den Stromkreis der Induktionsspule eingeschaltet.

Wiewohl sich diese Art der Anordnung, was die Deutlichkeit der Uebertragung anbelangte, sehr gut bewährte, haben sich dennoch einige Unzuträglichkeiten, wie Lichtbogenbildung zwischen den Kontakten etc.

Digitized by Google

ergeben und verwendet Murgas nunmehr die in Fig. 113 schematisch vorgeführte Anordnung.

Mit A ist die Sende- und mit E die Empfangsanordnung bezeichnet, L stellt den Luftdraht und U den Umschalter für den Uebergang von einer Schaltung auf die andere dar. Der Wechselstromgenerator g bildet mit der Primärwicklung p des Transformators t und der Induktanzrolle i einen Stromkreis, der jedoch erst durch Niederdrücken einer der Tasten 1 bis 4 geschlossen wird. Je nach Wahl der Taste durchläuft der Strom einen größeren oder geringeren Teil der Induktanzrolle, welche bei Niederdrücken der Taste 1 ganz ausgeschaltet wird. Die Funkenstrecke f wird nun so eingestellt, daß ihre Frequenz bei Druck auf die Taste 1 der Frequenz der Wechselstrommaschine entspricht. Der hierbei erzeugte bestimmte Ton muß sich mit der Frequenz der Funkenstrecke ändern, wenn durch Niederdrücken einer der Tasten 2 bis 4 eine entsprechende Induktanz in den Stromkreis eingeschaltet wird. Die Abzweigungen der Induktanzrolle zu den Tasten sind nun so gewählt, daß der eine Ton von dem nächstfolgenden um eine Oktave abweicht. Wird eine Taste zur Darstellung der Punkte und die andere zur Darstellung der Striche des Morsealphabetes benutzt, so unterscheiden sich diese Zeichen im Fernhörer des Empfangsortes deutlich durch die verschiedene Höhe der wahrzunehmenden Töne.

Die Veränderung der Selbstinduktion s_1 im eigentlichen Schwingungskreise geschieht einesteils in der bekannten Weise mittels Gleitkontakt v, andernteils aber noch dadurch, daß der auf das Spulenende drückende Stab n verschoben wird und hierdurch den Abstand der Spiralengänge verkleinert oder vergrößert. Da die Verschiebung des Stabes mittels Mikrometerschraube erfolgt, ist auch die Einstellung der Selbstinduktion eine sehr scharfe.

Im Empfangskreise E ist m ein Motor, der die Stahlachse a des Wellenanzeigers w in Umdrehung versetzt, f_1 ein Fernhörer, r ein Relais und d ein Wecker. Mittels des Umschalters u wird der Wellenanzeiger beim Senden abgeschaltet. Der Schalter u_1 dient dazu, entweder das Relais oder den Fernhörer einzuschalten. Das Relais r wird durch die Batterie b bei entsprechender Stellung des Schalters u_1 dann betätigt, wenn der Wellenanzeiger leitend ist, also nur bei Ankunft funkentelegraphischer Zeichen. Es schließt sodann den Kontakt c und damit den Ortsstromkreis des Weckers d.

Der von Murgas benützte Wellenanzeiger ist bereits auf S. 173 beschrieben.

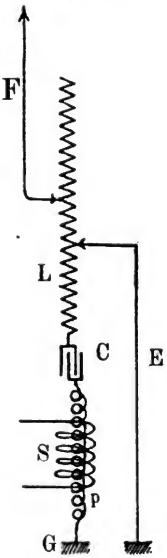
Die vorstehend beschriebene Einrichtung eignet sich vornehmlich

Digitized by Google

für die Nachrichtenübertragung über Land und entspricht, wie die Versuche zwischen den beiden durch Berg- und Hügelketten getrennten Stationen zu Wilkesbarre und Scranton erwiesen, vollkommen den gehegten Erwartungen, indem sich der Nachrichtenaustausch vollkommen anstandslos vollzieht, trotzdem anfänglich induktive Störungen durch eine Reihe von mehr oder minder zur Verbindungslinie parallel verlaufender elektrischer Bahnen behindernd einwirkten. Es ist jedoch durch Verschärfung der gegenseitigen Abstimmung gelungen, den Einfluß dieser Störungen gänzlich zu beseitigen.

Neuerungen an dem Systeme der drahtlosen Telegraphie von Marconi[1]). Mit den nachfolgenden Schaltungsarten für die Empfangseinrichtung soll einerseits eine sehr scharfe Abstimmung erzielt, anderseits eine Störung des Empfängers durch atmosphärische Störungen nahezu ausgeschlossen werden.

Fig. 114.



In der einfachsten Form der Ausführung (Fig. 114) bedeutet F den Wellenfänger oder Empfangsleiter, welcher durch einen Gleitkontakt mit der Spule L in Verbindung steht, C einen Kondensator, S und p die Uebertragungsspulen. G und E sind zwei Erdanschlüsse, von welchen E gleichfalls durch einen Gleitkontakt mit der Spule L verbunden ist. Die Enden der Spule S stehen mit einem elektrolytischen oder elektromagnetischen Wellenanzeiger in Verbindung.

Zur Einstellung auf Resonanz wird zunächst die Verbindung mit E gelöst und der Gleitkontakt von F längs L so lange verschoben, bis die Zeichen im Empfänger deutlich hervortreten. E wird nun an L angelegt und längs dieser Spule so lange verstellt, bis die Zeichen mit der gleichen Deutlichkeit wie vorher hervortreten.

Der Anschluß von E an L hat in einem Knotenpunkte der aufzunehmenden Schwingung zu erfolgen und ist demgemäß von der Wellenlänge abhängig. Alle Schwingungen, für welche der Anschlußpunkt kein Knotenpunkt ist, werden dementsprechend zur Erde abgeleitet und spricht der Wellenanzeiger auf diese Schwingungen

[1]) Western Electrician 1905, S. 26.

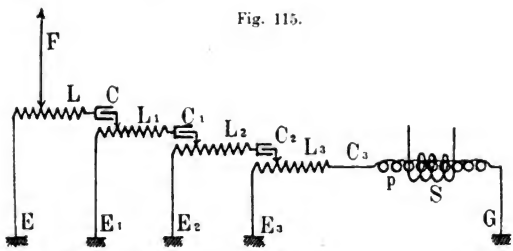
Digitized by Google

deshalb nicht an. Es findet sonach eine scharfe Selektion der einlangenden Wellen statt und gelangen an den Wellenanzeiger nur solche Schwingungen, auf welche das System in der vorbeschriebenen Weise abgestimmt ist. Selbstredend sind hierdurch auch Störungen durch atmosphärische Elektrizität zum größten Teile beseitigt.

Werden mehrere Schwingungskreise in der angegebenen Weise (Fig. 115) hintereinander verbunden, so ist die Ausscheidung der Wellen eine noch viel bessere und daher die Schärfe der Abstimmung und der Schutz gegen Störungen wesentlich vergrößert.

Eine weitere von Prof. Fleming herrührende Neuerung bezieht sich auf die Funkenstrecke, bei welcher, um das Entladungspotential zu erhöhen, die Funkenkugeln in einem Zylinder mit verdichteter Luft

Fig. 115.



(Fig. 116) eingeschlossen sind. Der Zylinder ist, um Gefahren durch zu starke Verdichtung auszuschließen, mit Druckmesser und Sicherheitsventil versehen. Um eine einseitige Abnützung der Funkenkugeln, zwischen welchen die Entladung erfolgt, hintanzuhalten bezw. zu verhindern, daß die Funken stets von den gleichen Punkten der Oberfläche überspringen, stehen beide Kugeln durch Schneckengetriebe mit je einem Motor in Verbindung und werden durch diesen in eine dauernde Drehung versetzt. Die Funken springen hierdurch stets zwischen verschiedenen Punkten über und wird auf diese Weise der ganze Umfang der Elektroden ausgenützt.

Die hochgespannten Ströme werden den Kugeln durch Quecksilberkontakte zugeführt und haben die Kugeln zu diesem Zwecke eine axiale Aushöhlung, die mit Quecksilber angefüllt ist, in welches die eigentlichen Zuführungkontakte eintauchen.

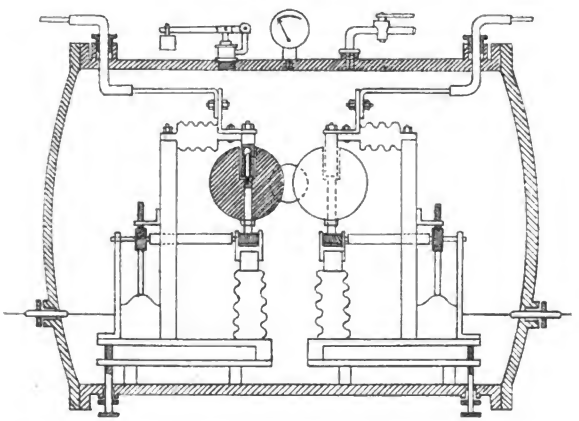
Die Kugeln sind nebst Motor und Antriebsvorrichtung auf kleinen Schlitten untergebracht, die durch eine von außen angetriebene Schraube

Digitized by Google

mehr oder minder um die eine Kante verdreht werden können und ist es hierdurch möglich, die Länge der Funkenstrecke oder die Schlagweite nach Bedarf einzuregeln, was durch ein in den Zylinder eingelassenes Beobachtungsfensterchen wesentlich erleichtert wird.

Es ist durch die Einschließung der Funkenstrecke in einen abgeschlossenen Raum nicht nur eine vorzügliche Schalldämpfung erreicht, sondern es findet auch eine wesentlich geringere Dämpfung der Funkenstrecke statt und werden somit die Energieverluste in der Funkenstrecke bedeutend geringer.

Fig. 116.



Wesentlich Neues ist mit diesen beiden Anordnungen nicht geschaffen, da Slaby die Ausscheidung aller Wellenlängen, für welche das Empfangssystem nicht abgestimmt ist, durch Erdung des Wellenfängers an einem Knotenpunkte der Spannung schon lange vorher angewendet hat (s. d. F. d. T. I, S. 22) und die Durchsiebung der Wellen unter Zuhilfenahme mehrerer Schwingungskreise, wenn auch auf andere Weise schon viel früher durch Stone (s. d. F. d. T. II, S. 108) angegeben wurde.

Auch die Entladung der Funkenkugeln in verdichteter Luft wird von Fessenden schon seit längerer Zeit verwendet (s. S. 222). Es ist hier sonach als neu nur die veränderte Anordnung und die fortlaufende Drehung der Funkenkugeln zu bezeichnen.

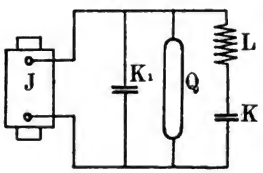
Digitized by Google

Das System Telefunken. A. Neuere Patente[1]). Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hat eine Reihe von Vorrichtungen patentiert erhalten, von welchen als besonders bemerkenswert die nachfolgenden zur Beschreibung gelangen sollen:

1. Vorrichtung zur Erhöhung der Fernwirkung funkentelegraphischer Sender. Zu diesem Zwecke sollen als Gegengewicht an Stelle von Erdleitungen oder Symmetriedrähten Körper verwendet werden, deren Ausdehnung nicht vorzugsweise nach einer Richtung hin geht, also z. B. eine oder mehrere Platten, die eine geringere Dämpfung als gleichwertige Symmetriedrähte besitzen. Solche Platten eignen sich insbesondere gut für bewegliche Stationen, für welche es stets schwer wird, eine gute Erdung zu erhalten, und ebenso für feste Stationen mit felsigem Gelände. Die Vorteile und Ueberlegenheit der Gegengewichte gegenüber Erdverbindungen, besonders in den erwähnten Fällen, wurde durch die Versuche von Sachs (S. 67), Evans (S. 85), Duddell und Taylor (S. 82) u. a. vielfach nachgewiesen.

2. Verfahren zur Erzeugung wenig gedämpfter elektrischer Schwingungen. Bei dieser Anordnung gelangt ein als Ventil wirkender Unterbrecher und ein zur Stromquelle parallel geschalteter Kondensator hoher Kapazität zur Ausnützung. In Fig. 117 bezeichnet J die Stromquelle, Q eine Quecksilberdampflampe, welche parallel zur Selbstinduktion L und zur Kapazität K liegt. L K stellen den Nutzschwingungskreis dar, welcher seine Energie entweder unmittelbar oder induktiv an den Luftleiter abgibt. Dem Kondensator K_1 fällt die Aufgabe einer Pufferbatterie zu, welche im Augenblicke der größten Energiebeanspruchung an den Nutzschwingungskreis Energie abgibt. Es wird durch diese Anordnung eine günstige Beanspruchung und vorteilhafte Ausnutzung der Stromquelle erreicht.

Fig. 117.



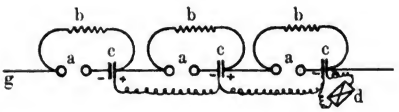
3. Unterteilte Funkenstrecken mit Kondensatoren in Parallelschaltung. Diese Anordnungen beziehen sich auf die von Prof. F. Braun geschaffenen Mittel zur Erhöhung der Senderenergie, über welche bereits in den F. d. T. III, S. 50 eingehende Mitteilungen gebracht wurden. Ausschlaggebende Aenderungen liegen

[1]) E. T. Z. 1906, S. 79.

Digitized by Google

diesfalls nicht vor. Das Wesen dieser Anordnung beruht in der Anwendung von Kondensatoren, die in Parallelschaltung von einer Energiequelle aus geladen werden und sich über Funkenstrecken, die in Reihen-

Fig. 118.



schaltung liegen, entladen (Fig. 118 bis 122). Es wird hierdurch erreicht, daß zum Laden der Kondensatoren nur eine verhältnismäßig geringe Ladespannung erforderlich wird, wogegen bei der Entladung

Fig. 119.

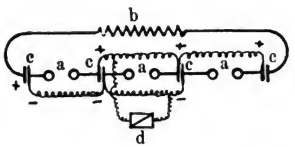
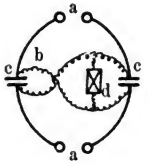


Fig. 120.



der Kondensatoren eine der Summe der Einzelspannungen entsprechende Spannungsamplitude erzielt wird. Es ist hierdurch auch die Möglichkeit gegeben, mit einem Hochspannungstransformator ganz verschiedene Schwingungskreise zu erregen.

Fig. 121.

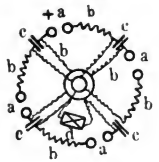
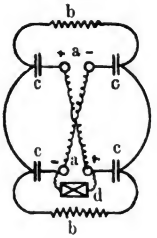


Fig. 122.

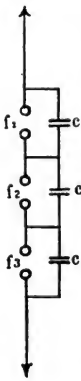


4. Funkenstrecken mit Spannungsteilern. Wie schon in den F. d. T. III, S. 51 eingehender ausgeführt wurde, ist die Vermehrung der Entladeenergie eines elektrischen Schwingungskreises

Digitized by Google

durch Verlängerung der Funkenstrecke praktisch begrenzt, weil erstens von einer bestimmten Funkenlänge ab die Spannung nicht mehr im Verhältnisse zur Vergrößerung der Funkenlänge zunimmt und zweitens die Dämpfung in der Funkenstrecke immer mehr ansteigt. Man kann sonach durch Vergrößerung der Funkenstrecke die Energie nicht über eine bestimmte Grenze hinaus steigern. Durch die Unterteilung der Funkenstrecke wird aber die gewünschte Wirkung auch nicht immer erreicht, weil nicht jede Funkenstrecke den auf sie entfallenden Teil der Spannung aufnimmt. Diesem Uebelstande wird nun durch die Anwendung von zu den einzelnen Funkenstrecken parallel geschalteten Spannungsteilmitteln, wie Kapazitäten, Selbstinduktionsspulen, Widerständen u. s. w. abgeholfen, indem durch diese Mittel die gesamte Ladespannung auf die einzelnen Teilfunkenstrecken passend verteilt wird und die Funken alle gleichzeitig einsetzen. In Fig. 123 ist eine Anordnung gegeben, bei welcher kleine Kapazitäten als Spannungsteiler wirken. Eine andere Anordnung, die sogenannte Braun-Rendahlsche unterteilte Funkenstrecke mit Kapazitäten in Verbindung mit Selbstinduktionen oder Ohmschen Widerständen als Spannungsteilern ist in Fig. 160, S. 191 der F. d. T. III eingehender beschrieben.

Fig. 123.



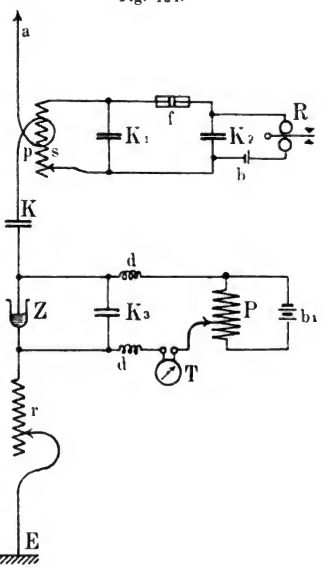
5. Schaltung zum Schutze des Wellenanzeigers, wenn eine bestimmte Grenze der Energiezufuhr überschritten ist. Der Zweck dieser Schaltung ist durch Anwendung von zwei mit dem Luftleiter verbundenen Wellenanzeigern verschiedener Empfindlichkeit, den empfindlicheren dadurch zu schützen, daß der minderempfindliche die Wirkung des anderen dann übernimmt, wenn die Energiezufuhr eine bestimmte Grenze überschreitet. Der empfindliche Fritter der Hauptvorrichtung wird gegen zu starke elektrische Einflüsse dadurch geschützt, daß er bei zu starker Empfangsintensität selbsttätig von dem zweiten Empfangsapparate abgeschaltet wird. Zweckmäßig besteht der empfindliche Wellenanzeiger aus einem Körnerfritter, der minder empfindliche Anzeiger aus einer elektrolytischen Zelle, so daß neben dem Schreiben ein Abhören der Zeichen möglich gemacht wird.

6. Anordnung zum Abstimmen des Empfangskreises auf die Schwingungszahl eines entfernten Senders. Diese Anordnung ermöglicht es, einen mit dem Luftdrahte zusammen arbeitenden Empfangskreis genau auf die Schwingungszahl eines entfernten Senders abzustimmen. Es erfolgt dies in der Weise, daß die Schwin-

Digitized by Google

gungszahl und die Wellenlänge des Senders etwa in der gleichen Weise gemessen werden kann, wie dies mittels Hilfe eines der bekannten Wellenmesser am Orte des Senders erfolgt. Zu diesem Zwecke werden zwei Wellenanzeiger mit dem Luftleiter verbunden und zwar ein quantitativ wirkender und ein anderer, der sich zum Zusammenarbeiten mit einem Schreibapparat eignet. Der erste Wellenanzeiger wird hierbei mit dem Luftleiter fest, der andere hingegen lose gekoppelt. Die lose Kopplung geschieht hierbei vorteilhaft durch Vermittlung eines Transformators, die feste durch unmittelbaren Anschluß des Empfangskreises an den Luftleiter. In Fig. 124 bezeichnet a den geerdeten Luftleiter, welcher die Primärtransformatorspule p, den veränderlichen Kondensator K, die elektrolytische Zelle Z und die Abstimmungsspule r einschließt. Im sekundären Empfangskreise wird die Energie durch die Transformatorspule s aufgenommen und wirkt auf den Körnerfritter f ein. K_1 K_2 sind Kondensatoren, b eine Ortsbatterie und R ein Relais. Parallel zum elektrolytischen Wellenanzeiger Z ist ein Kondensator K_3 geschaltet. Der eigentliche Empfangsstromkreis enthält die Drosselspulen d, die Anzeigevorrichtung T, welche aus einem Telephon oder einem Galvanometer bestehen kann und die Potentiometeranordnung P mit der zugehörigen Ortsbatterie b_1. Durch diese Anordnung wird die Abstimmung des Empfängers in zwei Teile zerlegt und zwar in die Abstimmung des Luftdrahtes mit dem Hörer auf die einlangenden Wellen, und die Abstimmung des sekundären Empfangskreises auf die Schwingungen des Luftdrahtes bezw. dessen Einstellung, bis der Schreibapparat genau arbeitet. Die Abstimmung auf die Wellenlänge der entfernten Station vollzieht sich hierbei in wenigen Sekunden.

Fig. 124.

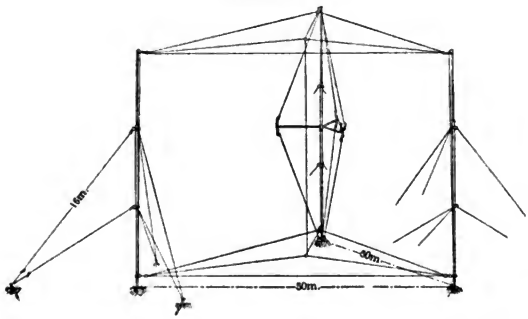


Digitized by Google

B. Tragbare Einrichtungen für Militärzwecke[1]). Diese Einrichtungen sind für die drahtlose Verständigung zwischen den einzelnen Abteilungen einer Armee bestimmt und zeichnen sich durch geringes Gewicht, daher leichte Transportmöglichkeit, sowie durch große Festigkeit und Dauerhaftigkeit aus. Das Gesamtgewicht dieser nur für eine Reichweite von 25 km im flachen Lande bestimmten Einrichtung schwankt zwischen 200 und 300 kg.

Das Neue dieser Anordnung bezieht sich beim Sendegebilde nur auf die Verwendung von teleskopischen Stahlröhren als Maste zum Befestigen der Luftdrähte und in den sonstigen Einrichtungen auf einen von einem Manne anzutreibenden Generator.

Fig. 125.



In jeder Station gelangen drei Maste zur Verwendung, welche auseinandergezogen eine Länge von 10 m und zusammengesteckt eine solche von 3,8 m haben. Um dem ganzen Gerüste genügende Stabilität zu geben, ist jeder Mast auf eine Gußeisenplatte aufgesetzt und wird mittels sechs Stahlkabeln verspannt, die ihren Stützpunkt an in den Boden eingerammten Haken finden.

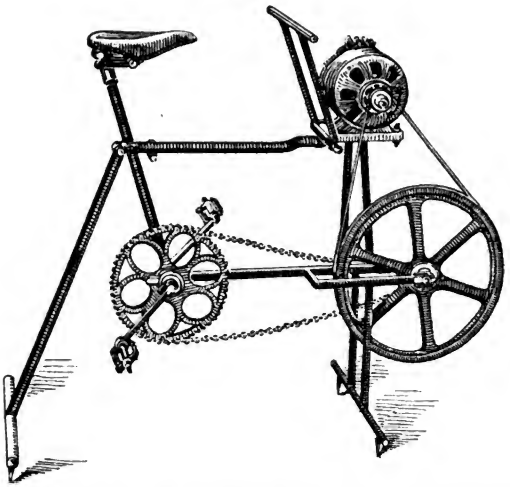
Fig. 125 stellt die Anordnung des Luftgebildes und des elektrischen Gegengewichtes in Verbindung mit den Tragmasten und Spannkabeln dar. Jeder Mast samt Zubehör wiegt 20 kg. Für das Luftgebilde und Gegengewicht werden Kabel aus acht verzinnten Kupferdrähten im Durchmesser von 4 mm verwendet. Die Isolatoren sind aus Glas hergestellt, welches wegen seiner Leichtigkeit und Dauerhaftigkeit gewählt wurde.

[1]) E. W. Bd. 45, S. 721.

Digitized by Google

Die tragbare Generatoreinrichtung besteht (Fig. 126) aus einer 100wattigen Gleichstromdynamo, welche mittels Riemen von einem eigenartig konstruierten Aluminiumrad angetrieben wird. Dieses Rad erhält seine Bewegung durch Kettenübersetzung von einem fußangetriebenen Pedalrad, wie solche bei Fahrrädern zur Anwendung gelangen. Das Ganze ist auf eine Art Fahrradrahmen aus Stahlröhren aufmontiert. Die Geschwindigkeit ist so reguliert, daß bei Umdrehung des Pedalrades mit mittlerer Geschwindigkeit, am Induktor ein Funke von 4 mm

Fig. 126.



Länge erhalten wird. Das Gesamtgewicht der Dynamoeinrichtung beträgt ungefähr 30 kg. An Stelle der Dynamoeinrichtung kann auch eine Akkumulatorenbatterie verwendet werden. Diese besteht dann aus acht Zellen mit einer Kapazität von 30 Amperestunden bei fünfstündiger Entladungsdauer. Die Platten sind in Ebonitgefäße eingesetzt und werden je vier solcher Elemente in einer Holzkiste untergebracht. Das Gewicht einer solchen Kiste beträgt samt den Zellen ebenfalls nur 30 kg.

Die Sendeeinrichtung ist in eine mit Tragriemen ausgerüstete Holzkiste von $540 \times 230 \times 320$ mm eingebaut. Diese Kiste, von

Digitized by Google

welcher eine Innenansicht in Fig. 127 gegeben ist, enthält einen Morsetaster, einen Induktor, einen Kondensator, eine Funkenstrecke mit Funkenkugeln aus Zink und eine Induktionsrolle, welche mit der aus Leidener Flaschen bestehenden Kapazität auf eine Wellenlänge von 400 mm abgestimmt ist. Das Gesamtgewicht des Senderkastens beträgt ungefähr 30 kg.

Die Empfangseinrichtung (Fig. 128) im Gesamtgewicht von 15 kg ist gleichfalls in einen Holzkasten von 400 × 250 × 250 mm Abmessung eingebaut und besteht aus drei Trockenzellen, einem Konden-

Fig. 127.

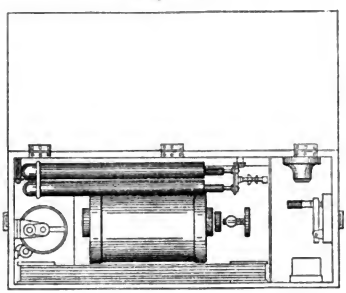
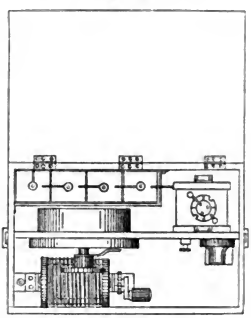


Fig. 128.



sator von veränderlicher Kapazität, einem Doppeltelephone und einem elektrolytischen Wellenanzeiger von Schloemilch.

Die gesamte Anordnung ist so getroffen, daß sie in einem hohen Grade von atmosphärischen Einflüssen unabhängig wird.

Für den Transport der Einrichtung sind zehn Mann notwendig, wenn eine Dynamomaschine und elf Mann, wenn Akkumulatoren als Energiequelle verwendet werden. Für den Transport durch Tragtiere reichen deren drei Stück aus.

C. Demonstrationsapparate[1]). Diese Apparate, für Vorlesungszwecke bestimmt, verfolgen nicht nur den Zweck, das Telegraphieren ohne Draht einer Zuhörerschaft vorführen zu können, sondern sollen es auch ermöglichen, die Grundlagen für die Abstimmung und die damit verbundene Selektion in deutlicher Weise anschaulich zu machen.

In diesen kleinen Apparaten sind die Hochfrequenz- und Hoch-

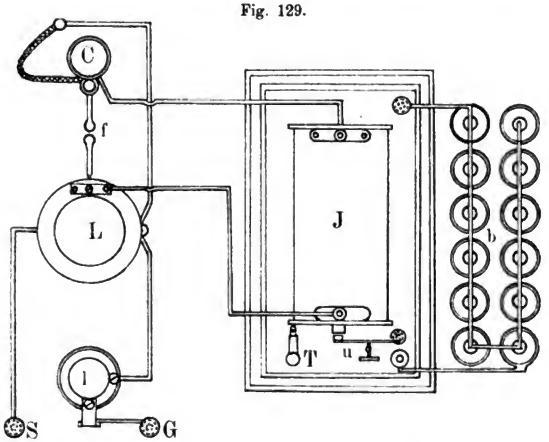
[1]) E. W. Bd. 46, S. 612.

Digitized by Google

spannungskreise genau so angeordnet, wie bei den für den praktischen Betrieb eingerichteten Stationen, nur wurden die Instrumente, um deren Ausführung weniger kostspielig zu machen, aus so wenig Teilen als möglich zusammengestellt. Die vollständige Einrichtung umfaßt einen Sender mit einer Batterie zur Erregung des Induktoriums und einen Empfänger mit Relais, Klopfer und einem Klingelwerk an Stelle des Morseschreibers samt dem zugehörigen künstlichen Sendeleiter und einer künstlichen Erde.

Die Daraufsicht (Fig. 129) und die schematische Darstellung

Fig. 129.



(Fig. 130) läßt die Anordnung und die Verbindung der verschiedenen Teile des Senders genau erkennen. Die Primäre P des Induktoriums J wird von der Batterie b dann gespeist, wenn die Taste T niedergedrückt wird. Der Unterbrecher u der gewöhnlichen Hammertype besorgt die regelmäßige Unterbrechung des Primärstromes. Es sind hier alle Teile mit Ausnahme der parallel geschalteten Batterie in Reihe geschaltet. Die Batterie liefert einen Strom von 1 Ampere bei 1,5 Volt.

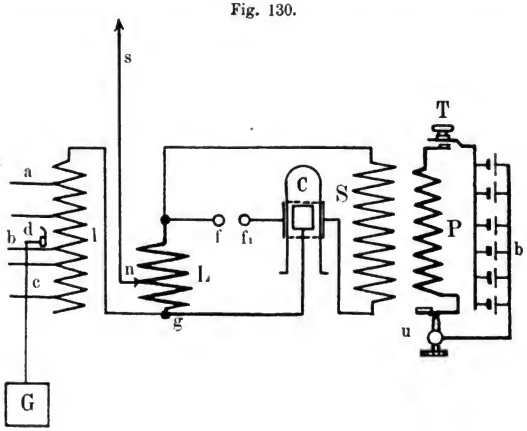
Die Enden der Sekundären S des Induktoriums sind mit den einander gegenüberliegenden Funkenkugeln f f_1 und zwar die Funkenkugel f_1 über die aus einer kleinen Leidener Flasche bestehende

Digitized by Google

Kapazität C verbunden und bildet diese mit der Selbstinduktion L von ganz bestimmtem Werte einen geschlossenen Schwingungskreis. Die Kapazität läßt sich innerhalb gewisser Grenzen durch Aenderung der gegenseitigen Lage der inneren und äußeren Belegungen ändern und können hierdurch drei verschiedene Schwingungsfrequenzen erhalten werden, die wieder in verschiedenen zur Entsendung kommenden Wellenlängen zum Ausdrucke gelangen.

Sowie das Induktorium in Wirksamkeit ist, entstehen in dem geschlossenen Kreise elektrische Schwingungen hoher Frequenz und

Fig. 130.



hohen Potentiales, die dem Sendesysteme aufgezwungen werden. Dieses besteht aus dem etwa 2 m hohen Luftdrahte s aus hartgezogenem Kupferdrahte, mit einem Blatte Kupferdrahtgaze an der Spitze befestigt, der Teilstrecke n g der Selbstinduktion L, der Selbstinduktion l und dem elektrischen Gegengewicht G, welches die Stelle der Erde vertritt. Dieses Gegengewicht besteht ebenfalls aus einem quadratischen Stücke von Kupferdrahtgaze und ist mit der Selbstinduktion l, die aus vielen Windungen besteht und einen Eisenkern hat, durch einen Schleifkontakt d verbunden und läßt durch Veränderung der Anzahl der eingeschalteten Windungen und damit verbundenen Aenderungen der Selbstinduktion, die Frequenz des Sendekreises verändern. Der Sendedraht ist mit L gleichfalls durch einen Schleifkontakt verbunden und

Digitized by Google

läßt sich durch dessen Verschiebung der Kopplungsgrad zwischen Schwingungs- und Sendekreis nach Bedarf einstellen.

Von den drei Wellenlängen, welche sich auf diese Weise erzeugen lassen, wird die kürzeste dann erhalten, wenn der Kapazität der Leidener Flasche der geringste Wert gegeben ist. Dies tritt ein, wenn die Flasche so hoch gezogen wird, daß ihr Führungsring die einzige Kapazität bildet, welcher in diesem Falle außer Verbindung mit der Außenbelegung der Flasche tritt.

Ist diese Bedingung erfüllt, so muß auch das elektrische Gegengewicht mit l bei a verbunden und dadurch der Wert der eingeschalteten Selbstinduktion verringert werden. Sind diese beiden Einstellungen durchgeführt, so beträgt die Länge der bei Erregung des Systemes entsendeten Wellen ungefähr 30 m. Die längste Welle von etwa 50 m wird erhalten, wenn die Leidener Flasche ihre größte Kapazität erreicht, was in der Weise erfolgt, daß der Führungsring mit der äußeren Belegung der Flasche so in leitende Verbindung gebracht wird, daß er diese um etwa 2 mm übergreift. Das Gegengewicht wird hierbei mit der Selbstinduktion l bei dem Punkte c verbunden.

Eine dritte Welle von mittlerer Länge wird erhalten, wenn man der Kapazität C wieder den geringsten Wert gibt und das Gegengewicht bei b anlegt. Es muß hierbei immer Vorsorge getroffen werden, daß sich Schwingungs- und Sendekreis in Resonanz befinden.

Fig. 131 zeigt die Draufsicht und Fig. 132 die Schaltung der Empfangseinrichtung. Hier wird der bereits bekannte Keilspaltfritter (s. d. F. d. T. I, S. 33) als Wellenanzeiger verwendet. Sowie elektrische Wellen auf den Empfangsdraht einwirken, entstehen, wenn sich der Sende- und Empfangskreis in Resonanz befinden, in dem Empfangskreis elektrische Schwingungen der gleichen Frequenz wie in dem Sendedrahte.

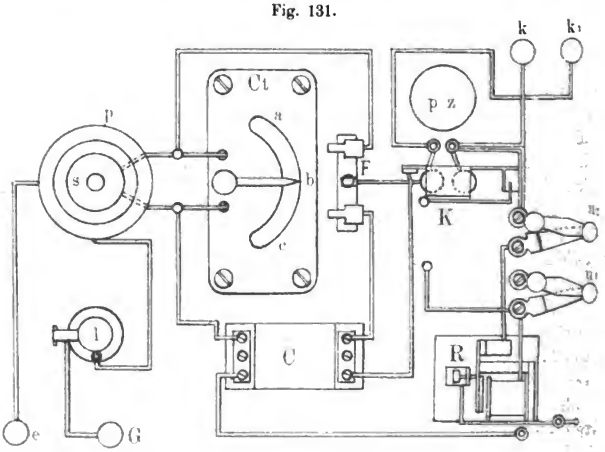
Ebenso wie bei dem Sender wirken hier ein geschlossener und ein offener Sendekreis aufeinander, nur mit dem Unterschiede, daß erstens die Kopplung eine elektromagnetische unter Anwendung eines Transformators ist und zweitens die Uebertragung der Schwingungen, umgekehrt wie beim Sender, von dem offenen auf den geschlossenen Schwingungskreis erfolgt. Der Luftdraht e besteht hier gleichfalls aus einem aufgehängten hartgezogenen Kupferdraht mit einer an der Spitze angebrachten Kapazität und ist über die Primärspule p des Transformators und die veränderliche Selbstinduktion l mit dem elektrischen Gegengewicht G verbunden. Die Aenderung der Selbstinduktion erfolgt durch Verschieben des Gleitkontaktes d. Die Primäre p und

Digitized by Google

die Sekundäre s sind gemeinsam auf einen Holzkern aufgewunden und bestehen beide aus nur wenig Windungen. Auch hier muß der Empfangs- oder offene Schwingungskreis mit dem Anzeige- oder geschlossenen Schwingungskreise, um die beste Uebertragungswirkung zu erreichen, in Resonanz gebracht werden. Ist diese Bedingung erfüllt, so genügt der geringste Betrag an aufgenommener Schwingungsenergie, um den Fritter zum Ansprechen zu bringen.

Der geschlossene Resonatorkreis enthält außer der sekundären Windung s des Transformators noch den Fritter F, den Kondensator C

Fig. 131.

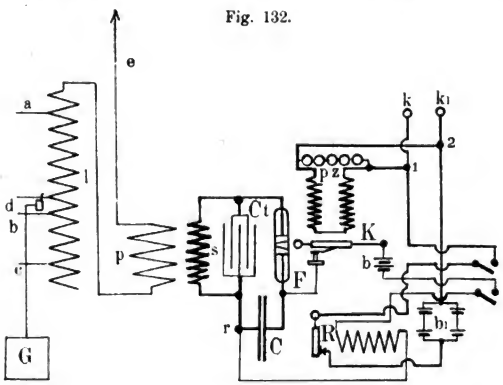


von gleichbleibender und im Verhältnisse zur Fritterkapazität außerordentlich hoher Kapazität und endlich den Kondensator Ct, dessen Kapazität regelbar ist. Gegenüber der großen Kapazität von C kann die Kapazität des Fritters für die Bestimmung der Eigenschwingungsperiode des Oszillators vernachlässigt werden. Die Abstimmung auf eine bestimmte Schwingungsperiode vollzieht sich mittels der regelbaren Kapazität Ct. Der Niederspannungskreis des Relais R zweigt von dem einen Fritterende ab, geht über den Kontakt des Klopfers K durch die Batterie b, die Elektromagnetwindungen des Relais R und schließt sich an den Schwingungskreis bei r an, wodurch er über s seinen Schluß über das zweite Fritterende findet. Als Stromquelle

Digitized by Google

dienen zwei kleine Trockenzellen von 2,6 Volt Spannung. Der zweite Niederspannungskreis geht von der Batterie b_1 über den Ankerkontakt des Relais zur Klemme k, führt von da zu der nicht dargestellten Signalglocke und kehrt über k_1 zur Batterie zurück. Bei den Punkten 1 und 2 findet sich ein zweiter Stromkreis über den Elektromagnet des Klopfers. Die Klopferspulen überbrückend sind fünf Polarisationszellen p z in diesen Zweigkreis geschaltet, welche wegen ihrer großen Kapazität ein schädliches Funken des Relaiskontaktes ausschließen. Diese Polarisationszellen, welche sich besser als Drosselspulen bewähren, bestehen aus kleinen Glasgefäßen, verdünnte Schwefelsäure enthaltend,

Fig. 132.



in welche ein paar Elektroden aus Platindraht eintauchen. Um den Empfänger auf den Sender abzustimmen, wird der Schleifkontakt d entweder an a, b oder c der Selbstinduktion l angelegt.

Mit diesen Einrichtungen werden gegliederte Pfähle, die leicht aufgestellt werden können, gesondert in einem Sacke verpackt mitgeliefert. Diese Pfähle mit ihrer Kupfergazekapazität lassen sich leicht in jedem geeigneten Raume aufstellen und mit den Apparaten verbinden, so daß Signale innerhalb der durch den Vorführungsraum gegebenen Grenzen entsendet und empfangen werden können.

Bei der Zusammensetzung der Apparate ist nur der Luftleiter mit den mit L und der Draht des Gegengewichtes mit den mit G bezeichneten Enden der Apparatsätze zu verbinden. Es erscheint jedoch von Wichtigkeit, vor dem Versuche der Signalübertragung die Funken-

Digitized by Google

strecke so einzustellen, daß die Entladung einsetzt, wenn die Kapazität der Leidener Flasche am größten ist. Der Empfänger ist auf den höchsten Grad der Empfindlichkeit einzustellen und zwar so, daß er nur auf jene Wellen anspricht, auf welche er abgestimmt ist. Die beiden Schalter u_1 und u_2 sind unmittelbar nach Beendigung der Uebertragung zu öffnen.

Sofern man zwei solche vollständige Einrichtungen zur Verfügung hat, läßt sich das Auftreten der Resonanz oder die gegenseitige Abstimmung in sehr schöner Weise vorführen. Die entgegengesetzten Sender und Empfänger werden auf Wellenlängen von 50 bezw. 30 m Länge eingestellt und sodann die Sender in Betrieb gesetzt. Ist der Empfänger auf dem höchsten Stande der Empfindlichkeit und mit dem zugehörigen Sender in Resonanz, so spricht er nur auf die von diesem Sender entsendeten Wellen an, dagegen auf den anderen Sender nicht, selbst wenn sich dieser in unmittelbarer Nähe befindet.

Wird die Entsendung von Signalen auf größere Entfernung verlangt, so gelangt ein Luftdraht von 15 m Länge, der an dem oberen Ende isoliert und senkrecht aufgehängt ist, zur Anwendung. Das andere Ende des Drahtes kann in diesem Falle geerdet werden, sofern ein passender Grund zur Verfügung steht. Ist dies jedoch unmöglich, so wird das elektrische Gegengewicht verwendet, welches jedoch von der Erde isoliert werden muß. Die Einrichtungen werden dann so adjustiert, daß der Sender eine geringe Kapazität und die Selbstinduktion einen mittleren Wert hat, und wird zu diesem Zwecke der Schleifkontakt d an den Punkt b und der Hebel zur Einstellung des regelbaren Kondensators der Empfangsstelle auf a (Fig. 131) eingestellt und das Gegengewicht mit dem Punkte G verbunden.

Der Empfänger erhält dann seine Höchstempfindlichkeit, wenn gleichzeitig der Fritter so gedreht wird, daß die Schneide des V-förmigen Spaltes nach oben zu stehen kommt, und die Sekundäre des Transformators genau in die Mitte der Primären zu liegen kommt, so daß alle Windungen von dem oszillatorischen Felde geschnitten werden.

Bei Versagen ist es zur Wiederherstellung des guten Wirkens am besten, vorerst den Fritter aus den federnden Klemmen herauszunehmen und diese Klemmen durch einen Draht zu überbrücken. Spricht das Relais an, so ist dies ein Zeichen, daß der Fehler aller Wahrscheinlichkeit nach im Fritter gelegen war und ist dieser durch einen anderen zu ersetzen. Spricht das Relais aber nicht an, so kann der Fehler nur im Relais oder der zugehörigen Batterie gelegen sein und ist dann leicht zu finden und zu beheben.

Digitized by Google

Bei Verwendung der Einrichtung außerhalb geschlossener Räume ist der Luftdraht von allen störenden Hindernissen frei zu halten. In Räumen kann mit diesen Einrichtungen bei 3 m Luftdraht auf 50 m und im Freien mit 15 m hohen Luftdrähten bis auf 500 m signalisiert werden.

Fig. 133.

Fig. 134.

Demonstrationsapparate von Ruhmer[1]. Das Instrumentarium zur Erzeugung elektrischer Wellen, zum Nachweis ihrer Fern-

[1]) E. T. Z. 1905, S. 383.

Digitized by Google

wirkung, sowie besonders zur Vorführung der elektrischen Resonanzerscheinungen umfaßt einen Sende- und Empfangsapparat.

Der von einem Resonanzinduktorium gespeiste Sendeapparat besteht aus einer Leidener Flaschenbatterie, einer Funkenstrecke einer regulierbaren Selbstinduktionsspule und den Resonanzspulen mit aufgesetztem Luftdrahte (Fig. 133). Der Empfangsapparat (Fig. 134) besteht nur aus regelbaren Resonanzspulen, die in einen auf einem Grundbrett montierten Metallfuß eingesetzt werden können. Als Wellenanzeiger dient einesteils eine auf Spannung ansprechende Geislerröhre, andernteils eine auf Strom ansprechende Glühlampe.

Bei Abstimmung des Senders in sich und des Empfängers auf den Sender kann die Glühlampe bis auf mehrere Meter Entfernung zum Aufleuchten gebracht werden und gibt dies eine anschauliche Darstellung der Energieübertragung mittels elektrischer Wellen. Bei Verwendung der Geislerröhre läßt sich diese Entfernung noch wesentlich vergrößern.

Tragbare Einrichtungen für drahtlose Telegraphie[1]). Für Zwecke der Küstenverteidigung wurde von dem Signalkorps der amerikanischen Armee eine tragbare Einrichtung zur Verständigung mittels drahtloser Telegraphie geschaffen, welche mit Batterie und Instrumenten weniger als 125 kg wiegt und so unterteilt ist, daß sie leicht von zwei Mann gehandhabt werden kann. Die vollständige Aufstellung erfordert weniger als 30 Minuten und die Abtragung annähernd 15 Minuten.

Diese Einrichtung besteht aus vier Einheiten, deren jede mit Schulterriemen versehen ist. Die Batterie, die Drahtstütze und der Luftdraht sind hierbei nicht inbegriffen. Diese Einheiten lassen sich als die Transformatoreinheit, die Kondensatoreneinheit, die Uebertragungseinheit und die Empfangseinheit bezeichnen.

Die Energiequelle für die Sendung ist eine Sammlerbatterie von zwölf Zellen, von denen je vier in einem Kasten untergebracht sind. Der von diesen Zellen abgegebene Strom beträgt 4 Ampere bei 20 Volt. Die Batterie vermag 8 Ampere durch 10 Stunden hindurch abzugeben. In dem Empfangskreis werden Trockenbatterien verwendet, die eine normale Betriebsspannung von 1,2 bis 1,5 Volt haben.

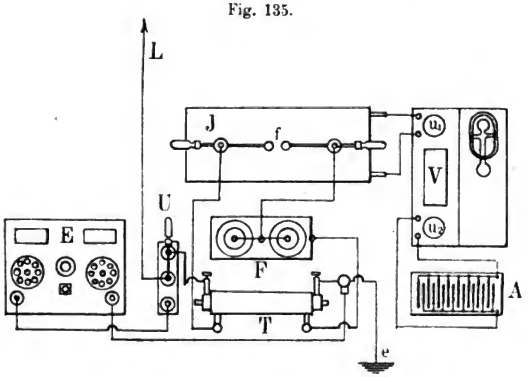
Als Wellenanzeiger dient ein Fritter mit magnetischen Feilspänen. Der Spalt zwischen den Elektroden ist unterteilt, so daß sich die Elektrodenfläche vervielfacht. Durch einen veränderlichen Widerstand

[1]) E. W. Bd. 46. S. 191.

Digitized by Google

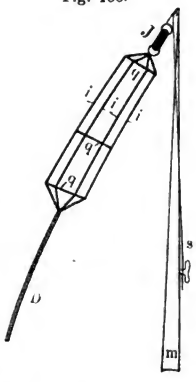
an jeder Seite des Fritterkreises wird es ermöglicht, die Empfindlichkeit des Fritterkreises zu ändern. In Verbindung mit dem Fritter

Fig. 135.



gelangt ein Relais zur Verwendung. Die Kreise sind so angeordnet, daß der Fritter unter der Einwirkung elektrischer Wellen den Relaisstromkreis schließt, welcher wieder eine Anrufglocke zum Ertönen bringt und gleichzeitig den Elektromagneten des Klopfers anregt, wodurch der Fritter wieder den ursprünglichen Widerstand annimmt.

Fig. 136.



Für den dauernden Empfang von Signalen ist an der Vorderseite des Empfangskastens ein Stahl-, Kohle- und Quecksilbermikrophonempfänger eingebaut, welcher mittels Federklinke und Stift mit ein Paar Kopftelephonen in Verbindung steht. Ein einfacher wechselseitiger Umschalter U (Fig. 135) dient zur Verbindung des Luftdrahtes mit den Uebertragungs- bezw. Empfangsapparaten. Für den eigentlichen Wellenfänger sind ungefähr 150 m dünnen Drahtes, der gut verzinnt ist, vorgesehen. Die Art und Weise der Verbindung des Wellenfängers und Zuführungsdrahtes ist aus Fig. 136 zu entnehmen. Die Erdung der Einrichtung erfolgt durch ein Drahtgewebe

Digitized by Google

oder Netz, welches je nach der örtlichen Lage entweder auf dem Boden ausgebreitet oder in Wasser versenkt wird.

In Fig. 135 bedeutet außerdem noch E die Empfangseinrichtung, L den Luftdraht, T den Hochspannungstransformator, F die Leidener Flaschen, J den Induktor, f die Funkenstrecke, u_1 u_2 zwei Umschalter, V den Unterbrecher, A die Akkumulatoren und e die Erde. Die mit i bezeichneten Teile der Luftpyramide (Fig. 136) sind aus verzinntem Kupferdrahte, die Querspreizen q aus Bambus hergestellt. J ist ein Isolator aus Hartgummi mit einem Haken aus Stahldraht am oberen Ende, über welchem das Luftgebilde mittels des Seiles s längs des Mastes m hochgezogen wird. Vom unteren Ende des Luftgebildes führt ein isolierter Draht zu den Apparaten.

Die Ergebnisse der Versuche mit dieser Einrichtung waren so günstige, daß mit deren schrittweiser Einführung sofort begonnen wurde.

Neuerungen an dem Systeme der drahtlosen Telegraphie von Fessenden[1]). Diese Neuerungen stellen eigentlich nichts anderes dar, als Verbesserungen der einzelnen Apparate, um deren Leistungsfähigkeit bezw. Empfindlichkeit zu erhöhen, wohingegen an den allgemeinen Grundlagen für die drahtlose Nachrichtenvermittlung durch diese keine Aenderung geschaffen ist.

a) Neuerungen am Wellenanzeiger. Der Wellenanzeiger oder Flüssigkeitsbarretter (s. d. F. d. T. II, S. 79) hat dadurch eine wesentliche Verbesserung erfahren, daß er unter einem Drucke, welcher den Druck der atmosphärischen Luft überschreitet, gehalten wird. Hierdurch wird die Lautstärke und die Reinheit der in dem Telephone erhaltenen Signale wesentlich verstärkt. Dieser Wellenanzeiger besteht aus einer Glasröhre, welche eine wässerige Lösung von Salpetersäure oder Aetznatron enthält und in welche zwei feine Drähte eintauchen, deren einer bis auf das sehr kurz hervorragende Ende vollkommen isoliert ist. Die Flüssigkeit wird durch Einpumpen von Luft unter einem Drucke von 3 bis 4 kg für das Quadratzentimeter gehalten, bei welchem Drucke die besten Ergebnisse erzielt werden sollen.

Nachdem über die Wirkungsweise dieses Baretters bereits berichtet wurde, bedarf die in Fig. 137 vorgeführte Gesamtanordnung, in welcher L den Luftdraht, D den Empfangstransformator, B den Baretter, b die Ortsbatterie, p ein Potentiometer, t das Empfangstelephon und C einen Kondensator darstellt, keiner weiteren Erläuterung.

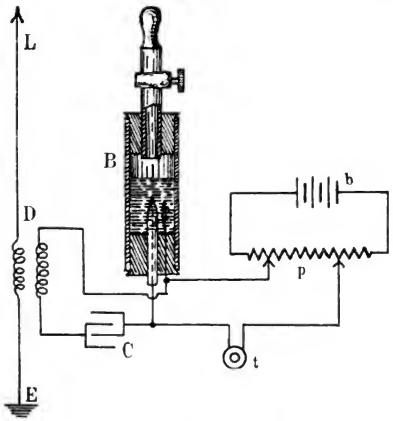
---

[1]) E. W. Bd. 46, S. 90.

Digitized by Google

b) Neuerungen an Kondensatoren. Zwei weitere Neuerungen beziehen sich auf die verwendeten Kondensatoren. Für eine Form der Kondensatoren werden kurze Kabelstücke von jener Sorte, welche für Hochspannungskraftübertragungsanlagen verwendet werden, in passender Weise angeordnet. Die mit diesen Konden-

Fig. 137.



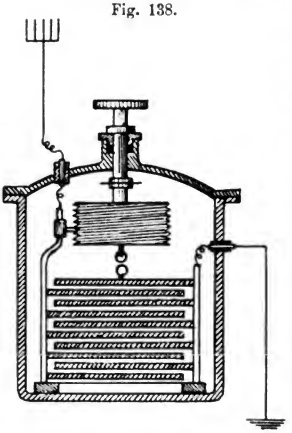
satoren erzielten Vorteile werden wie folgt angegeben. Ein solcher Kondensator erwärmt sich nicht, wird durch warme Witterung nicht beeinflußt, weist sehr geringe innere Verluste auf, läßt sich leicht zusammenstellen und leicht reparieren und ist verhältnismäßig billig.

Bei dem in Fig. 138 dargestellten Kondensator besteht das Dielektrikum aus komprimierter Luft und ist zu diesem Zwecke der Kondensator, die Funkenstrecke und die regulierbare Selbstinduktion in ein nach außen vollkommen abgeschlossenes Gefäß eingesetzt. Der gute Wirkungsgrad solcher Kondensatoren beruht darauf, daß bei einem Drucke von mehr als 4,5 kg für das Quadratzentimeter die statischen Entladungen und die damit verbundenen Verluste, welche bei normalem Luftdrucke bis zu 50 v. H. betragen können, gänzlich zu verschwinden scheinen. Nach den Untersuchungen des Erfinders ist bei einem Kondensator, dessen Platten ungefähr 2 mm voneinander abstehen, bei einem Gasdrucke von 13 kg per Quadratzentimeter, wenn die Spannung

Digitized by Google

bis zu 27 500 Volt hinaufgetrieben wird, anscheinend kein Energieverlust festzustellen, während schon bei 28 500 Volt Funken zwischen den Platten überspringen. Es wird auf diese Weise möglich, Kondensatoren von annehmbarer Größe mit verhältnismäßig geringen Kosten herzustellen, deren Wirkungsgrad größer ist, als der anderer Kondensatoren mit irgend einem beliebigen Dielektrikum. Bei diesen Luftkondensatoren zeigt sich weder eine dielektrische Hysteresis, noch sind Büschelentladungen bemerkbar und treten anscheinend keine Verluste irgend welcher Art auf, so daß sich mit diesen Kondensatoren jeder Grad der Resonanz erzielen läßt. Die mit dieser Einrichtung erzielbare Schwingungsperiode und somit auch die Frequenz der entsendeten Wellen erscheint absolut konstant und von der Temperatur und anderen Bedingungen unabhängig zu sein. Soweit die Feststellung mit dem Hitzdrahtbaretter dies erkennen läßt, bewegen sich die Schwankungen unterhalb $^1/_{10}$ v. H.

Fig. 138.



c) Neuerungen in der Anordnung der Sendegebilde. Für bleibende Landstationen gelangt ein Stützmast zylindrischer Konstruktion zur Anwendung, der vom Erdboden gut isoliert ist und von dessen Spitze eine Reihe von Drähten strahlenförmig ausgehen. Soferne die zylindrischen Abschnitte einen entsprechenden Durchmesser haben, läßt sich mit dieser Art von Luftgebilden eine bedeutende Höhe erreichen. Durch eine innere Leiter wird es ermöglicht, zu jedem Teile zu gelangen.

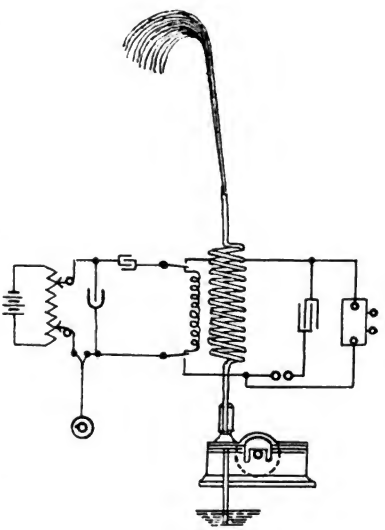
Ein Wasserstrahlluftleiter ist in Fig. 139 vorgeführt. Diese Art von Luftleitern ist für den Gebrauch an Bord von Schiffen bestimmt, falls dessen Maste weggeschossen sein sollten, oder auch für Landbefestigungen, von welchen aus eine weittragende Verständigung ermöglicht werden soll, für die aber die Errichtung eines eigenen dauernden Luftgebildes nicht wünschenswert erscheint.

Ein solcher Wasserstrahl scheint wegen des großen Leitungswiderstandes des Wassers wenig wirksam zu sein. Dies ist jedoch

Digitized by Google

nach Mitteilungen der National Electric Signaling Co.[1]), welche die Patente von Fessenden verwertet, nicht der Fall, wenn man nur einen genügend starken Wasserstrahl anwendet. Der Unterschied des Leitungswiderstandes zwischen einem Luftleiter aus Kupfer und einem Wasserstrahl ist nämlich nicht allzugroß und erklärt sich dies daraus, daß sich die Hochfrequenzströme nicht über den ganzen Querschnitt des Kupferleiters verbreiten, sondern mehr an dessen Oberfläche verlaufen, wegegen sie beim Wasserstrahl durch den ganzen Querschnitt hindurchgehen. Ist sonach der normale Widerstand einer Flüssigkeit etwa 10^6mal größer als der Widerstand eines Kupferdrahtes von gleichem Querschnitt, so wird er für Hochfrequenzströme nur etwa 10^3mal so groß sein. Dieser Unterschied wird nun durch die Vergrößerung des Querschnittes des Wasserstrahles noch weiter ausgeglichen, da im Betriebe ein Wasserstrahl von 5 cm Durchmesser und 50 m Höhe zur Anwendung gelangt.

Fig. 139.



Es spielt sonach der an und für sich größere Leitungswiderstand des Wasserstrahles praktisch keine Rolle.

d) Neuerungen in der Art und Weise der Wellenerzeugung. Bei einer dieser Neuerungen wird als Energiequelle eine Wechselstrommaschine benützt in Verbindung mit einem Kondensator, welcher abwechselnd mit dem Generator und dem Luftdrahte verbunden wird, was durch einen mit dem Generator synchron laufenden Kom-

[1]) E. T. Z. 1905, S. 1162.

Digitized by Google

mutator besorgt wird, der die Verbindung mit den beiden Kreisen abwechselnd herstellt.

Die weiteren diesbezüglichen Anordnungen beziehen sich mehr auf drahtlose Telephonie, denn auf die drahtlose Telegraphie, und fassen die Entsendung ununterbrochener Wellenzüge ins Auge, welche jedoch zum Zwecke der Nachrichtenvermittlung nicht unterbrochen, sondern nur in ihrer Form abgeändert werden sollen. Nach einer der hierfür bekannt gegebenen Methoden wird eine Dynamomaschine verwendet, welche befähigt ist, in dem Sendeleiter die gewünschte Wellenfrequenz unmittelbar hervorzurufen, also beispielsweise eine Dynamomaschine, welche eine Frequenz von 300000 in der Sekunde hat und mehrere Pferdekräfte an Strahlungsenergie abzugeben vermag. Wird ein Telephontransmitter in den Feldkreis der Dynamomaschine eingeschaltet und spricht man in diesen hinein, so ändert sich die Feldstärke der Dynamomaschine und dementsprechend auch die Intensität der Wellenstrahlung und zwar genau im Verhältnisse zu den Tönen der Stimme. An der Empfangsstelle wird der gewöhnliche Telephonempfänger benutzt. Die Kapazitätswirkungen, welche in Telephonkabeln die Reinheit und Geschwindigkeit der Uebertragung so ungünstig beeinflussen, entfallen hier gänzlich und werden aus diesem Grunde die höheren Harmonischen der menschlichen Stimme ohne jedwede Verzerrung übertragen, woraus sich wieder eine außerordentliche Klarheit der Artikulation ergibt. Nach Fessenden besteht kein Zweifel darüber, daß die Uebertragung der Sprache über den Ozean mit diesen Mitteln möglich werden muß.

e) Erleichterung des Funkenüberganges im Senderstromkreise[1]). Zu diesem Zwecke wird neben einer der die Entladungsstrecke begrenzenden Elektroden eine Hilfselektrode angeordnet und zwischen diese beiden die Morsetaste geschaltet. Beim Niederdrücken der Taste springt zwischen den beiden nahe aneinander liegenden Elektroden ein Funke über, welcher die Hauptfunkenstrecke bestrahlt und den Eintritt der Entladung fördert. Wie aus dem Nachfolgenden zu entnehmen, bedient sich de Forest einer ähnlichen Einrichtung zur Erreichung des gleichen Zweckes.

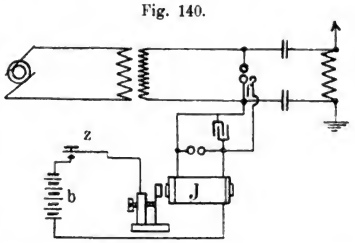
De Forests Funkenregulierung für die Sendeeinrichtungen in der drahtlosen Telegraphie[2]). Um die Nachteile zu beseitigen, welche mit den Unterbrechern in den Hauptkreisen des

[1]) E. E. 1905, S. 398.
[2]) E. W. Bd. 46, S. 768.

Digitized by Google

Senders zur Erzeugung des regulären Funkens verbunden sind, insbesondere dann, wenn größere Stromstärken zur Anwendung gelangen müssen, wendet de Forest eine Hilfsfunkenstrecke an, welche er wohl zu Unrecht als Hemmfunkenstrecke bezeichnet. Diese Hilfsfunkenstrecke ist (Fig. 140) sehr nahe zur Hauptfunkenstrecke des Schwingungskreises unter Mitbenützung der einen Funkenkugel angeordnet und wird, wie dies aus der Darstellung ohne weiteres ersichtlich, durch eine besondere Kraftquelle, in diesem Falle ein Induktorium J in Verbindung mit einer Batterie b, zum Funken dann veranlaßt, wenn der Zeichengeber Z geschlossen ist. Die Einrichtung ist auf der Erkenntnis aufgebaut, daß ultraviolette Strahlen oder ionisierende Einflüsse den Widerstand eines gasförmigen Dielektrikums verringern. Durch den Einfluß des kleinen Funkens neben dem Hauptfunken, welcher normal unwirksam ist, wird dieser so lange wirksam, als er unter dem Einflusse der ionisierenden Wirkung des Hilfsfunkens steht.

Fig. 140.



Das System der drahtlosen Telegraphie von Stone[1]). Der Grundgedanke, von welchem bei diesem Systeme ausgegangen wird, beruht, wie dies bereits klargelegt wurde (F. d. T. II, S. 108), darauf, daß eine Interferenz dadurch hintangehalten werden kann, wenn der Sender nur dauernde oder wenig gedämpfte Züge einfach harmonischer Wellen zur Ausstrahlung bringt, deren Frequenz wesentlich von jener verschieden ist, welche von einem anderen Sender innerhalb des Reichweiterayons ausgehen und daß die Empfangsstation, mit welcher der Verkehr aufrecht erhalten werden soll, nur auf solche Wellenzüge der bestimmten Frequenz anspricht. Wenn von dem Sender eine geringe Dämpfung, die Entsendung reiner Sinuswellen und eine große Schwingungsamplitude erfordert wird, so ist die Funkenstrecke von dem lotrechten Sendegebilde auszuschalten und diesem eine einfach harmonisch elektromotorische Kraft aufzudrücken.

Die sich hieraus ergebenden Schwingungen in dem lotrechten Oszillator sind dann aufgezwungene, einfach harmonische Schwingungen.

[1]) Lond. Electrician, 28. April 1905; E. W. Bd. 45, S. 61, Bd. 46, S. 825.

Digitized by Google

Um diesen Schwingungen eine große Amplitude zu erteilen, ist die Frequenz der aufgezwungenen Kraft in Uebereinstimmung mit der Grundschwingung oder einer zu ihr harmonischen Schwingung zu bringen, in welchem Falle die Rückwirkung des Oszillators gleich Null wird. Eine einfache Anordnung zur Erzeugung aufgezwungener einfach harmonischer Schwingungen zeigt Fig. 141, in welcher D ein Wechselstromgenerator, Z ein Zeichengeber ist. F ist die von den Enden der Sekundären des Induktoriums J ausgehende Funkenstrecke, C ein Kondensator, L eine Selbstinduktion, p und S sind die Primäre und Sekundäre eines Transformators für Hochfrequenzströme und E die Erde. Der Empfänger (Fig. 142) ermöglicht nur die Aufnahme von dauernden Zügen

Fig. 141.

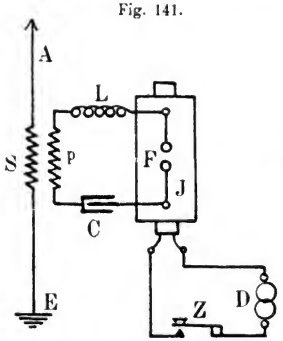
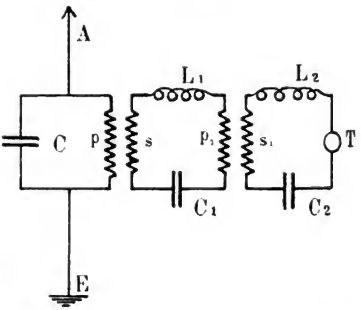


Fig. 142.



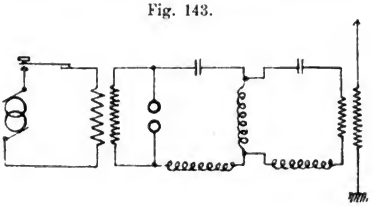
einfach harmonischer Wellen vorher bestimmter Frequenz und schließt die Aufnahme von Nachrichten durch ähnliche Wellen, aber von wesentlich verschiedener Frequenz aus, und bleibt von kurzen Wellenstößen unbeeinflußt. Bei dieser Anordnung wird der Wellenanzeiger T in einem Lokalkreis $s_1 L_2 C_2 T$ geschaltet, welcher resonant zu der Wellenfrequenz, auf welche der Wellenanzeiger ansprechen soll, eingestellt ist. Zwischen diesem Kreise und dem vertikalen Resonator ist ein zweiter auf die gleiche Wellenfrequenz abgestimmter Schwingungskreis zwischengeschaltet, welcher die einlangenden Wellen sozusagen zu filtrieren und nur jene durchzulassen hat, welche der gewählten Frequenz entsprechen. Der aus der Induktionsspule p und dem Kondensator C gebildete Zweigkreis ist für sich nicht auf die gleiche Frequenz eingestellt wie die beiden anderen Kreise, aber so bemessen, daß er in Verbindung mit dem Luftdrahte und der Erde auf dauernde Wellen-

Digitized by Google

züge der bestimmten Frequenz, welche von dem Luftdrahte aufgenommen werden, am kräftigsten anspricht.

Fig. 143 stellt eine Anordnung der Sendeeinrichtung dar, bei welcher der in Resonanz mit dem Sendeleiter stehende Ausscheidungs-

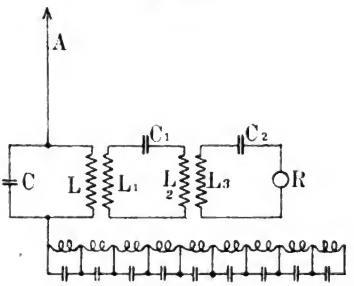
Fig. 143.



kreis mit dem eigentlichen Schwingungskreis galvanisch statt elektromagnetisch gekoppelt ist.

Bei der in Fig. 144 dargestellten Empfangsanordnung ist an den Luftleiter A ein geschlossener Schwingungskreis C L angeschlossen, dessen Schwingungen induktiv auf den Ausscheidungskreis L_1 C_1 L_2 und

Fig. 144.

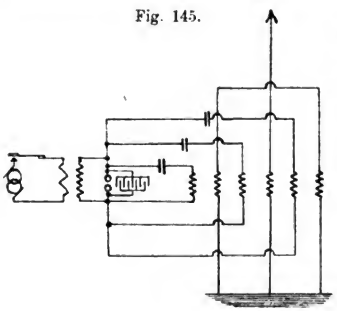


von diesem gleichfalls in elektromagnetischer Kopplung auf den eigentlichen Empfangskreis L_3 C_2 R übertragen werden. An Stelle der Erdung ist an den von dem Schwingungskreise C L abgehenden Teil des Luftleiters eine Anzahl von Kapazität und Selbstinduktion enthaltenden Kreisen angeschlossen, deren Reaktanz für die korrespondierenden Frequenzen gleich jener des oberen Teiles des Empfangsleiters ist.

Digitized by Google

Mit der Anordnung in Fig. 145 wird bezweckt, die Menge der von dem Sender in Form einfach harmonischer Wellen ausgestrahlten Energie zu vergrößern. Es werden hier mehrere Schwingungskreise, die alle auf die gleiche Schwingungsperiode abgestimmt sind, in Parallelschaltung von einer gemeinsamen Funkenstrecke erregt, und ist der Wellenstrahler in der dargestellten Weise mit jedem dieser Kreise induktiv gekoppelt.

Fig. 145.



In Fig. 146 ist ein Schaltungsdiagramm einer sowohl der Uebertragung als dem Empfange dienenden Station, wie solche bereits ausgeführt wurde und im Betriebe steht, gegeben. Der Sende- bezw. Empfangsleiter L hat Harfenform und besteht aus zehn zylindrischen Kupferdrähten, von welchen jedoch alle zehn Drähte nur für die Sendung, dagegen nur die beiden äußersten Drähte als Empfangsleiter dienen. Die Umschaltung von Sendung auf Empfang und umgekehrt vollzieht sich mittels des Doppelschalters U. Dieser Wechsel von einer Zahl der Drähte auf die andere wird durch die verschiedenen Anforderungen der Empfangs- gegenüber der Sendeanordnung begründet, welche einen Unterschied in den elektromagnetischen und elektrostatischen Konstanten des Luftleiters verlangen.

Wird der Umschalter nach rechts geworfen, so sind die zehn lotrechten Drähte mit dem Uebertragungsstromkreis in Verbindung. Der Luftdraht ist dann über die Sekundäre S des Hochfrequenztransformators mit der Erde E verbunden. Die Kapazität des Luftleiters und die Selbstinduktion haben solche Werte, daß ihr Produkt der Frequenz jener Länge der elektrischen Wellen entspricht, welche übertragen werden sollen. Durch Aenderung der Länge der sekundären Windung kann der Stromkreis auf irgend eine der gewählten Frequenzen eingestellt werden. Die Frequenz in der Primären P des Hochspannungstransformators wird durch den Kondensator K, welcher über die Funkenstrecke f in Reihe zu P geschaltet ist, geregelt. Als Stromquelle dient ein gewöhnlicher Wechselstromgenerator von 5 Kilowatt Leistung bei 150 Volt und 60 Wechseln. Zur Erhöhung der

Digitized by Google

Spannung dient ein in Form eines gewöhnlichen Induktors gebauter Transformator J.

Dem Kondensator K im Primärkreise des Hochfrequenztransfor-

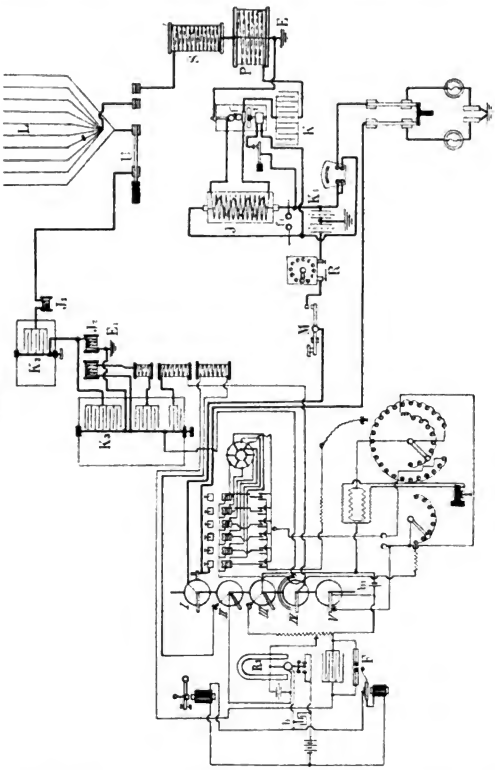


Fig. 146.

mators wird eine solche Kapazität gegeben, daß die Frequenz des Stromes dieses Kreises mit der Frequenz des eigentlichen Sendekreises übereinstimmt. Eine Aenderung der Frequenz dieses Kreises wird außerdem durch Aenderung der Länge der Primärwindungen ermög-

Digitized by Google

licht, die zu diesem Zwecke durch einfaches Drehen der Spule entweder ab- oder aufgewickelt wird.

Der Hochfrequenztransformator ist, wie sich dies von selbst ergibt, ganz frei von Eisen, und um die wechselseitige Induktion möglichst herabzudrücken, lose gekoppelt. Große Sorgfalt wird den Kondensatoren gewidmet, für welche als Dielektrikum eine Mischung von Harz und Bienenwachs verwendet wird, dessen Isolationsvermögen und spezifische induktive Kapazität sehr groß, dessen dielektrische Hysteresis dagegen sehr klein sein soll.

Um das Geräusch der Entladungen herabzudrücken, ist die Funkenstrecke in eine schalldichte Kassette eingeschlossen und einer starken Luftzirkulation durch einen motorgetriebenen Fächer ausgesetzt. Zum Schutze des stromliefernden Generator gegen Isolationsbrüche bei außerordentlichen Störungen wird mit den beiden Polen ein Kondensator K_1 verbunden, dessen Kapazität so bemessen ist, daß er bei der normalen Frequenz nur eine geringe Strommenge aufzunehmen vermag, sich aber gegen Ströme von außerordentlich hoher Frequenz, wie solche bei abnormalen oszillatorischen Störungen auftreten, durchlässig erweist. Die Mittelplatte dieses Kondensators ist zur Erde geführt. Außerdem sind Schmelzsicherungen von großer Kapazität in die Hauptleitungen eingefügt. Als zusätzliche Sicherung ist über die Primäre des Hochspannungstransformator eine so eingestellte Funkenstrecke f_1 gelegt, daß sie in Wirksamkeit tritt, sobald die E.M.K. des Generators über das zulässige Maß ansteigt. In den primären Kreis ist ferner ein Rheostat R zur Aenderung der Stromstärke und eine Morsetaste M zur Zeichenabgabe eingeschaltet.

Der Empfangskreis besteht aus drei Teilen, deren jeder für sich so eingestellt ist, daß dessen Eigenfrequenz genau mit der Frequenz übereinstimmt, auf welche die Station ansprechen soll. Diese drei Kreise werden als der lotrechte Schwingungskreis, der Ausscheidungskreis und der örtliche Empfangskreis bezeichnet. Die Verbindung des lotrechten Schwingungskreises geht von den zwei äußeren Luftdrähten bei der Lage des Schalters U nach links durch eine Induktionsrolle J_1 und einen Kondensator K_2 und von diesem durch einen örtlich geschlossenen Stromkreis, welcher gleichfalls einen Kondensator K_3 und eine Induktionsrolle J_2 enthält zur Erde E_1. Dieser letzte Zweigkreis hat nicht die Eigenfrequenz, auf welche die Station ansprechen soll, ist aber so eingestellt, daß bei Kombination mit den anderen Teilen des lotrechten Schwingungskreises in der in der Figur angedeuteten Weise der Gesamtkreis auf die gewünschte Frequenz anspricht.

Digitized by Google

Der Empfangskreis ist genau auf die bestimmte Stationsfrequenz abgestimmt und erhält die induktive Erregung von einem Teile des Ausscheidungskreises, welcher die Schwingungsenergie wieder von der Induktionsrolle J_2 des örtlich geschlossenen Teiles des lotrechten Schwingungskreises aufgedrückt erhält. Wiewohl der lotrechte Schwingungskreis und auch der Empfangskreis nur auf dauernde Wellenzüge der bestimmten Frequenz energisch ansprechen und von Wellen anderer Frequenz nur schwach beeinflußt werden, hat sich doch gezeigt, daß es nur mit Hilfe des Ausscheidungskreises möglich ist, den Einfluß der Wirkung von Wellen anderer Frequenz in zufriedenstellender Weise zu beseitigen. Dieser Kreis enthält außer dem Kondensator K_2 und der Induktionsrolle J_2 keine Apparate und spricht für sich genommen nur auf Wellen sehr eng begrenzter Frequenzen an und scheidet daher für den Empfangskreis alle Wellen anderer Frequenz, als durch diese Grenze gegeben, bis auf einen unbemerkbaren Teil aus.

Die Energiemenge, welche die Empfangsstation erreicht, ist außerordentlich gering und müssen daher zahlreiche Vorsichtsmaßregeln angewendet werden, um eine unnötige weitere Zerstreuung zu verhindern. Zu diesem Zwecke sind alle Empfangskondensatoren durch Luft isoliert und die Induktionsspulen so konstruiert, daß sie alle Hysteresis und Wirbelstromverluste ausschließen. Versuche zeigten, daß Induktionsrollen mit Holzkernen eine von Tag zu Tag sich ändernde Leistung zeigen, welche zweifellos von einem veränderlichen Verluste durch Wirbelströme bedingt ist, je nachdem das teilweise leitende Material mehr oder weniger Feuchtigkeit aus der Luft aufnimmt. Aus diesem Grund sind bei der Einrichtung von Stone alle Drähte auf Ebonitrahmen aufgewunden und jene der Empfangseinrichtungen außerdem in eine vollkommen feuchtigkeitsdichte Umhüllung eingeschlossen. Die Abstimmung der verschiedenen Kreise der Empfangseinrichtung vollzieht sich durch Aenderung der Kapazität der in Betracht kommenden Kondensatoren. Die rohe Einstellung geschieht durch Vermehrung oder Verminderung der Kondensatorplatten, die feine Einstellung hingegen durch Aenderung der wirksamen Plattenoberflächen.

Als Wellenanzeiger wird manchmal ein gewöhnlicher Fritter F mit Metallspänen verwendet. In diesem Falle dient ein empfindliches Relais R, dessen wirksame Elemente jenen der Westonschen Gleichstrominstrumente ähneln, zur Anzeige der eingetretenen Frittung. Der Nachteil des Fritters, daß die Geschwindigkeit der Aufnahme eine sehr begrenzte ist, führte zur Verwendung einer Art von Bolometer (s. S. 175),

Digitized by Google

welches sich als äußerst empfindlich und sicher in seiner Wirkung erweist. Dieses Bolometer steht mit einer Batterie und einem empfindlichen Telephone in Verbindung.

An Stelle einer eingebetteten Erdung wird, wie dies bereits in der F. d. T. III, S. 232, Fig. 195 vorgeführt wird, ein Drahtnetz in weitem Umkreise um das Ende des Luftleiters an dessen unteres Ende gelegt und mit diesem verbunden. I—V sind Umschalter zur Zu- und Abschaltung, bezw. Verbindung der einzelnen Stromkreise.

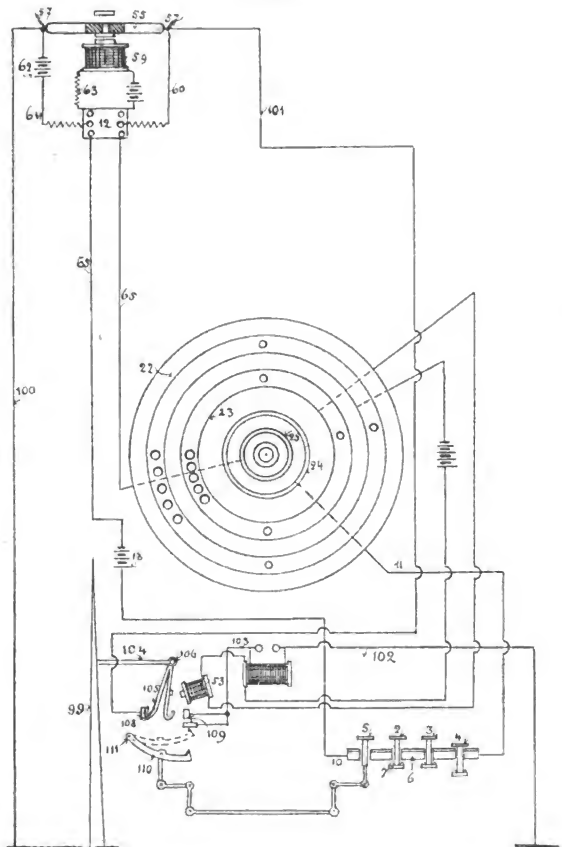
Bei der früheren Einrichtung machten sich manche Aenderungen in der Güte des Empfanges durch Witterungswechsel fühlbar, welche mit den neueren nunmehr in Gebrauche befindlichen Apparaten vollständig beseitigt sind. Wiewohl das Stromlaufschema über die wichtigsten Verbindungen hinreichend klare Auskunft gibt, bleibt es bezüglich mancher Verbindungen die Aufklärung schuldig und läßt auch der beschreibende Teil des Originales manches an Klarheit zu wünschen übrig, was wohl seine gerechtfertigte Begründung darin finden dürfte, daß der Gesellschaft bezw. dem Erfinder die Geheimhaltung mancher Einzelheiten noch notwendig erscheint.

G. Mussos Einrichtung zur Niederlegung der einlangenden Zeichen in Typenschrift[1]). Fig. 147 stellt die Anordnung der Einrichtung für jede Station und die Leitungsverbindungen, Fig. 148 einen Schnitt der Tastatur und der sich drehenden Scheibe dar, welche die Tasten des Typenschreibers betätigt. Die Tasten 2, 3, 4 etc., von welchen der Einfachheit halber nur drei an der Zahl dargestellt wurden, sind mit isolierten Kontakten 7 versehen, welche, wenn die Tasten gehoben sind, die unteren Leisten der Klaviatur elektrisch verbinden. Ein Ende dieser Leisten ist durch Drähte 10, 65 mit einem Stromkreis verbunden, welcher eine Batterie 13 und ein Relais 12 einschließt. Das andere Ende ist durch den Leiter 11 mit einem flachen metallischen Ringe 24 verbunden, der in eine unbewegliche kreisförmige Platte aus isolierendem Materiale eingesetzt ist. Diese letztere trägt außerdem noch drei eingesetzte Metallringe 22, 23 und 25. Der Ring 25 ist durch die Leitung 65 mit dem Relais 12 verbunden. Diese Platte ist in der Mitte durchbrochen und geht durch diese Oeffnung eine Welle, an deren Zapfen die drehbare Scheibe 21 (Fig. 148), von den gleichen Abmessungen wie die feste Platte, aufgesetzt ist. Diese Scheibe wird durch die Zahnradübersetzung 29, 30 von einem Uhrwerke in drehende Bewegung versetzt. Die Scheiben 21

[1]) Patentschrift vom Juni 1904.

Digitized by Google

Fig. 147.



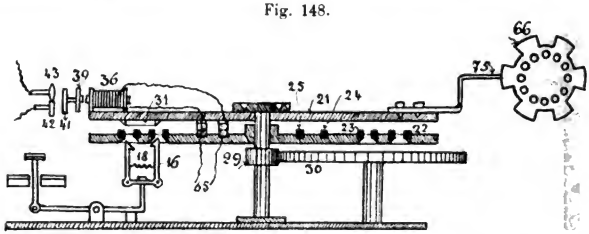
der beiden in Verbindung stehenden Stationen werden durch eine gleichartige Einrichtung in synchroner Bewegung erhalten. Die beiden mit der Scheibe 21 verbundenen Bürsten vermitteln den Kontakt mit den

Digitized by Google

Metallringen 24 und 25 und verbinden diese mit den Windungen eines polarisierten Elektromagneten 36, welcher auf der beweglichen Scheibe 21 befestigt ist. Jedesmal, wenn dieser Elektromagnet erregt wird, drückt dessen Armatur 39 den Kontakt 41 gegen die Kontakte 42, 43 und schließt hierdurch den Stromkreis eines Elektromagneten aus einer Serie von Elektromagneten, welche die Tasten der Klaviatur des Empfangstypenschreibers betätigen.

In die Ringe 22 und 23 sind eine Anzahl von Löchern auf gleiche Entfernung eingestanzt und greifen in diese die Zinken einer zweizinkigen Gabel 16, die mit dem Ende eines der Tasterhebel der Klaviatur in Verbindung steht. Wird nun eine dieser Tasten niedergedrückt, so gehen die Zinken der zugehörigen Gabel durch die korrespondierenden Oeffnungen hindurch und bleiben, durch die Feder 18 gegeneinander

Fig. 148.



gezogen, an den Rand von 22 und 23 mit ihren Haken angelegt. Die leitende Verbindung der beiden Metallsegmente wird dann hergestellt, wenn sich im Laufe der Drehung der Scheibe 21 das an deren Unterseite befestigte, keilförmig abgeschrägte Kontaktstück 31 zwischen die beiden Gabelzinken eindrängt. Hierdurch werden auch die Gabelzinken auseinandergedrückt und gleiten wieder in die Führungslöcher zurück. Von den beiden Metallringen 22 und 23 führen Drähte zur Batterie und der primären Windung des Induktoriums und einen Elektromagneten 53, welche sohin in einem Kreise liegen, der geschlossen wird, wenn die Ringe 22 und 23 in der angedeuteten Weise metallisch verbunden werden.

Eine der Funkenkugeln des Oszillators steht über die Leitung 102 mit der Erde in Verbindung, die andere ist durch 101, 103 mit einem Pole des Fritters 55, dessen andere Elektrode über 100 zur Erde führt, verbunden. Auf der anderen Seite ist der Fritter über 60, 61 mit einem Doppelrelais 12 verbunden und befindet sich in den so ge-

Digitized by Google

schaffenen Stromkreis die Batterie 62 eingeschaltet. Dieses Relais ist ferner durch den Stromkreis 63 mit der Batterie und einem polarisierten Elektromagnete 59 verbunden, auf dessen Anker der Fritter befestigt ist. Die kombinierte Wirkung der Ankerbewegung und der rückziehenden Federn 57, welche den Fritter wieder in die ursprüngliche Lage zurückführen, sind ausreichend, um ihn wieder in den nichtleitenden Zustand zu bringen. Das Relais 12 ist ferner, wie schon erwähnt, über 65 mit dem Ringe 25, der Batterie 13, der Leiste 6 und über diese mit dem Ringe 24 verbunden.

Ein Druck auf eine der Tasten 2, 3, 4 etc. versetzt die Gabel 16 in die bereits früher beschriebene Stellung und schließt den Stromkreis der Primären des Induktoriums und des Elektromagneten 53. Letzterer wirkt gleichzeitig auf einen um 106 drehbaren Kommutator 105 ein, schließt den Kontakt 109 und verbindet hierdurch den Luftdraht 99 über 103, 109, 105, 104 mit der linksseitigen Funkenkugel. Solange 105 die in der Figur dargestellte Empfangslage einnimmt, ist der Luftdraht 99 über 104, 105, 108, 101 mit dem einen Fritterpole verbunden. Wird eine der Tasten des Senders niedergedrückt, so verläßt der zugehörige Kontakt 7 die Leiste 6, wodurch der Stromkreis 65 etc. unterbrochen und die Station für den Empfang ausgeschaltet wird. Man kann jedoch im Bedarfsfalle gleichzeitig senden und empfangen, indem man die Verbindung von 6 durch eine oberhalb dieser angebrachte Platte ununterbrochen aufrecht erhält, es ist aber in diesem Falle der Fritter gegen die eigene Funkenstrecke dadurch zu schützen, daß man den Fritter mit seinem Relais und dem Stromkreis 60, 61, 63 in einen mit der Erde verbundenen Metallkäfig einschließt.

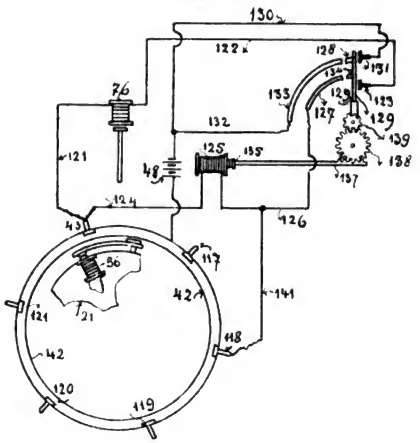
Die Klaviatur des Senders trägt eine besondere Taste 5, welche dazu dient, die Scheiben 21 der verschiedenen miteinander in Verbindung stehenden Stationen gleichzeitig in Bewegung oder in Stillstand zu setzen, bezw. zu deren Auslösung und Arretierung die Anregung zu geben. Die Wirkung dieser Taste ist ganz die gleiche, wie die der anderen Tasten, nur daß sie an Stelle des die Klaviatur der Schreibmaschine dirigierenden Elektromagneten den Stromkreis eines anderen Elektromagneten schließt, welcher die Aufgabe hat, ein mit einer kleinen gezähnten Scheibe 66 (Fig. 148) verbundenes Sperrrad in Bewegung zu setzen. Jede Verschiebung der Scheibe gibt, je nachdem der Arretierungszapfen 75 der Scheibe 21 auf einen Einschnitt oder Zahn der Scheibe trifft, die Bewegung der Scheibe frei oder hemmt sie. Der Stoß auf die Scheibe bei Arretierung wird durch einen gefederten Knopf, welcher an dem Ende des Arretierungs-

Digitized by Google

zapfens 75 befestigt ist, gedämpft. Die Scheibe 66 wird in jeder Lage, welche sie einnehmen darf, durch eine Feder festgehalten, welche in einen Knopf endigt, der in eines der an der Oberfläche der Scheibe ausgesparten Löcher einfällt.

Der Fritter wird nun im Gefolge der Bewegungen, welche die Scheibe 21 in Drehung bringen oder absperren, angeregt und zwar durch das Spiel eines Unterbrechers 110, welcher sich um 111 dreht und mit dem Kontakt 108 in Verbindung steht. Der Druck auf die

Fig. 149.



Taste 5 betätigt eine Reihe gelenkig verbundener Hebel, die den Unterbrecher zwingen, die leitende Verbindung zwischen den Kontakten 108, 109 herzustellen.

Die Anordnung (Fig. 149) gestattet die Korrespondenz mit einer einzigen Station, selbst wenn die Verbindung mit mehreren Stationen ermöglicht ist. Man sieht hier in Draufsicht ein Stück der Scheibe 21 mit dem zugehörigen Elektromagnete 36. Der Kontakt des Kreises zur Ingangsetzung ist mit 43 bezeichnet. Der Stromkreis umfaßt den Leiter 121, den Elektromagnet 76 der Scheibe 66, die Kontakte 123, 131, welche normal mit dem Hebel 129 in leitender Verbindung stehen, 130, die Batterie 48 und den Metallring 42. Sind fünf Stationen miteinander verbunden, so hat jede einen besonderen Kontakt, der durch

Digitized by Google

117, 118, 119, 120 121 bezeichnet ist. Dient beispielsweise der Kontakt 118 dazu, die in Fig. 148 angedeutete Station zu isolieren, so sind die anderen 117, 119, 120 und 121 dazu bestimmt, die anderen vier Stationen nach Bedarf für die Korrespondenz auszuwählen. Der Kontakt 43 ist durch 124 mit dem Elektromagnet 125 und im weiteren Verlaufe durch 126 mit dem Kontaktsegmente 127 verbunden. Ein anderes ähnliches Segment 133 ist in einen Stromkreis, 132, 130, die Batterie 48 und den Metallring 42 umfassend, zwischengeschaltet. Die Bürsten 128, 134 des Hebels 129 stellen den Kontakt mit 127, 133 her, wenn dieser Hebel nach links gedreht wird. Ein Uhrwerk regelt die Bewegung dieses Hebels in der Weise, daß sich die Rückbewegung des Hebels sehr langsam vollzieht, in 30 Sekunden zum Beispiel. Die Energie für dessen Bewegung liefert der Elektromagnet 125 unter Vermittlung einer Zahnstange 137 und der Zahnräder 138, 139. Der Kontakt 118 kann mit Hilfe einer besonderen Taste von jeder anderen der vier Stationen ausgeschlossen werden.

Die Verbindung mit allen fünf Stationen wird hergestellt, wenn man auf die Anruftaste 5 drückt, wodurch alle Scheiben 21 in Bewegung gesetzt werden. Um die Stationen auszuscheiden, mit welchen man nicht sprechen will, drückt man die korrespondierenden Tasten, wodurch sich der Kontakt 118 herstellt und einen Stromkreis über 118, 141, 125, 124, 43, 121, 76, 122, 129, 131, 130, 48, 42 schließt, von welchen der Elektromagnet 76 das Rad 66 antreibt, um eine seiner Ausladungen in den Weg von 75 zu führen und so die Scheibe 21 der auszuschließenden Stationen zu hemmen. Die Erregung des Elektromagneten 125 des gleichen Kreises bedingt die Verschiebung des Hebels 129 zur Linken, wodurch sich die Kontakte 127, 133 schließen und die Kontakte 123, 131 öffnen. Hierdurch wird ein anderer Stromkreis 48, 132, 133, 129, 126, 125, 124, 43, 42 geschlossen und so lange geschlossen gehalten, als sich die Wellenimpulse folgen. Bei den ausgeschalteten Stationen bleibt die Scheibe 21 in Ruhe und jeder einlangende Impuls erhält die Armatur 135 angezogen, wodurch der Elektromagnet 76 isoliert bleibt. Diese Bedingung bleibt so lange bestehen, als der Zeitraum zwischen zwei Impulsen nicht größer ist als 30 Sekunden. Sobald dies eintrifft, geht der Hebel 129 in seine ursprüngliche Lage zurück und schaltet 76 wieder in den Stromkreis ein.

Teslas neueste Anordnung zur drahtlosen Uebertragung elektrischer Signale[1]). Wie auf allen Gebieten, so

[1]) E. W. Bd. 45, S. 789.

Digitized by Google

ist auch hier dieser geniale Serbo-Kroate seine eigenen Wege gegangen und von der befahrenen Landstraße abgewichen. Nach jahrelangem Studium und eingehenden Beobachtungen in den einsamsten Gegenden, sowie gleichfalls jahrelangen Versuchen mit den gewaltigsten elektrischen Kräften, wofür ihm auch, ein seltener Fall, die erforderlichen Mittel in reichlicher Weise seitens eines amerikanischen Geldkönigs zur Verfügung gestellt wurden, ist Tesla endlich mit einem Patente hervorgetreten, um sich auch die Früchte seiner Studien und seiner hervorragenden Begabung zu sichern.

Eine oberflächliche Durchsicht der Patentbeschreibung würde vermuten lassen, daß es sich hier um wenig Neues handelt, und ein System der Telegraphie geschaffen wurde, bei welchem bloß die Leitfähigkeit der Erde zur Ausnützung gelangt, wie solches schon viel früher von einer Reihe von Erfindern mit mehr oder minder gutem Erfolge versucht wurde.

Tatsächlich wurden die hier auftretenden Erscheinungen von vielen beobachtet, so auch in neuester Zeit von Dr. Hugo Mosler (s. S. 249), welcher in ähnlicher Weise, wie dies Tesla vorschlägt, eine Telephonie ohne Draht, wenn auch nur auf sehr beschränkte Entfernungen, zu schaffen vermochte. Authentischen Nachrichten zufolge war der erste, welcher diese Erscheinungen bereits im Jahre 1877 durch einen Zufall zu beobachten vermochte und auch durch einige Zeit weiter verfolgte, der durch die Erfindung des Typendrucktelegraphenapparates berühmt und reich gewordene Prof. Hughes. Er wußte sich die Sache jedoch nicht recht zu deuten und ließ sie sodann fallen, nachdem Fachkollegen diese Erscheinung als nicht etwas Absonderliches betrachteten und auf reine Induktionswirkungen zurückführten, was jedoch nach den heutigen Erfahrungen ausgeschlossen erscheint.

Teslas Anordnung zur Uebertragung elektrischer Signale weicht nun von den neueren Einrichtungen dieser Art insoferne wesentlich ab, als er sich hierfür nicht mehr der Aetherwellen bedient, sondern elektrische Schwingungen von der Größenordnung $6 - 2 \times 10^4$ anwendet und sich als leitenden Mediums der Erde bedient. Entgegen der allgemein herrschenden Anschauung, daß die Erde wegen ihrer ungeheuren Ausdehnung elektrischen Störungen gegenüber nicht als ein Leiter, sondern eher als ein ungeheures Reservoir zu betrachten ist, kam Tesla auf Grund seiner Versuche zu der Ueberzeugung, daß die Erdkugel trotz ihrer ungeheuren Ausdehnung sich im ganzen gegen aufgedrückte elektrische Störungen genau so verhält, wie ein Leiter von begrenzter Größe.

Digitized by Google

Im Verlaufe bestimmter Forschungen wurde ein eigenes Verhalten hochempfindlicher Instrumente beobachtet und entdeckt, daß dieses durch Blitzentladungen in die Erde hervorgerufenen elektrischen Wellen zuzuschreiben sei. Diese Wellen zeigten Knotenpunkte, welche sich in ganz bestimmten Entfernungen von dem Ausgangsorte der Störung folgten. Aus einer langen Reihe von Beobachtungen der Maxima und Minima dieser Wellen wurde gefunden, daß deren Länge zwischen 25 und 70 m schwankt. Diese Ergebnisse, sowie theoretische Erwägungen führten zu dem Schlusse, daß Wellen dieser Art nach allen Richtungen hin über die Erde fortgepflanzt werden und deren Längen sich innerhalb viel weiterer Grenzen als den vorangegebenen bewegen können.

Durch fortschreitende Verbesserung in der Erzeugung elektrischer Schwingungen wurden elektrische Bewegungen erhalten, welche, wie dies durch zahlreiche Versuche und Messungen nachgewiesen wurde, jene durch Blitzentladungen hervorgerufenen in ihren Wirkungen nicht nur erreichten, sondern übertrafen. Mit Hilfe dieser Apparate wurde es möglich, zu jeder Zeit in der Erde Erscheinungen hervorzurufen, welche ähnlicher oder gleicher Natur sind wie jene, die durch Blitzentladungen bedingt werden.

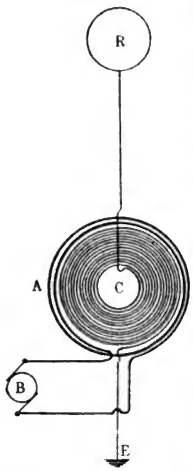
Es wird durch die Anwendung eines solchen Apparates zur Erzeugung stationärer Wellen und von entsprechend angeordneten Empfangsapparaten, welche sich in unbegrenzter Entfernung befinden können, ermöglicht, verständliche Signale zu übertragen, oder nach Willen einen oder auch alle diese Apparate für viele andere wichtige und wertvolle Zwecke nutzbar zu verwerten. Zu diesen Anwendungsgebieten gehört beispielsweise die korrekte Zeitangabe durch ein Observatorium, die Feststellung der relativen Lage eines Körpers oder dessen Entfernung von einem gegebenen Punkte, die Feststellung des Kurses eines sich bewegenden Objektes, wie beispielsweise eines Schiffes, des von diesem zurückgelegten Weges, oder von dessen Geschwindigkeit etc. etc.

Fig. 150 stellt den Generator zur Erzeugung stationärer Wellen in der Erde dar. Er besteht aus einer primären Spule A, welche den einen Teil eines Transformators bildet und in der Regel nur wenige Windungen eines starken Kabels von vernachlässigbarem Widerstande hat. Die Enden dieses Kabels stehen mit einer Quelle von äußerst kräftigen elektrischen Schwingungen B in Verbindung, welche in der Regel ein zu einem hohen Potentiale geladener Kondensator ist, der sich durch die Primäre entladet. Die sekundäre Spule C ist spiral-

Digitized by Google

förmig gewunden und befindet sich innerhalb der Primären. Ein Ende dieser Sekundären ist mit dem erhöhten Ende R, das andere mit der Erde E verbunden. Der Widerstand der Sekundären soll so klein als angängig, deren Selbstinduktion aber so groß als möglich gemacht und die Erdverbindung mit der größten Sorgfalt hergestellt werden. Die Gesamtlänge des Leiters von der Erde bis zu dem erhöhten Ende R soll gleich einem Viertel oder einem ungeraden Vielfachen von einem Viertel der Wellenlänge der in der primären Windung erregten Schwingungen sein.

Fig. 150.



Ist diese Bedingung eingehalten, so findet sich am Ende R ein Knotenpunkt der Spannung und es entstehen in diesem Leiter kräftige elektrische Schwingungen. Die induktive Verbindung zwischen der Primären und der Sekundären oder der Kopplungsgrad soll nicht so fest sein, wie bei dem gewöhnlichen Transformator und wurde zu diesem Zwecke der Sekundären die Spiralform gegeben. Mit dieser Anordnung wurde es ermöglicht, eine tausendfach größere elektrische Bewegung als die anfängliche zu erhalten und Wirkungen des elektrischen Kraftflusses zu erzielen, die nach Zehntausenden von Pferdekräften gemessen wurden. Diese mächtigen Schwingungen rufen nun durch die Erdverbindung korrespondierende Schwingungen in der Erde hervor, die sich auf sehr weite Entfernungen des Erdkörpers fortpflanzen und wenn sie reflektiert werden, durch Interferenz mit den ausgehenden Schwingungen stationäre Wellen bilden, deren Berge und Täler in parallelen Kreisen liegen, für welche die Erdungsstelle den Mittelpunkt bildet. Es wird sonach der Erdleiter mit den ihm aufgedrückten Schwingungen ebenso wie ein Draht in Resonanz gebracht. Eine große Anzahl festgestellter Tatsachen erweisen, daß die so hervorgerufenen Bewegungen der Elektrizität bestimmten Gesetzen mit mathematischer Genauigkeit folgen. Die Erde verhält sich hier wie ein vollkommen glatter oder polierter Leiter von unbemerklichem Widerstande mit gleichmäßiger Verteilung der Kapazität und Selbstinduktion um die in der Richtung der Wellenfortpflanzung gelegene Symmetrieachse und überträgt langsame elektrische Schwingungen ohne empfindliche Abschwächung und Verzerrung.

Digitized by Google

Um die Resonanzbedingungen zu erfüllen, erscheinen folgende Zusatzerfordernisse wesentlich. Erstens der Erdhalbmesser, welcher durch den Erdungspunkt hindurchgeht, soll ein ungerades Vielfaches von einem Viertel der Wellenlänge oder dem Verhältnisse der Geschwindigkeit des Lichtes zu der vierfachen Frequenz des Stromes sein. Zweitens die Frequenz soll kleiner sein als 20000 in der Sekunde. Als geringste Frequenz erscheint 6 in der Sekunde, in welchem Falle nur eine Ladung an oder nahe der Grundplatte stattfindet und so paradox es auch erscheinen mag, wird sich die Wirkung mit der Entfernung steigern und am größten in einer der Erdplatte diametral entgegengesetzten Region sein. Mit noch langsameren Schwingungen gibt die Erde genau gesprochen keine Resonanz mehr, sondern wirkt einfach als eine Kapazität, so daß die Potentialschwankungen sich mehr oder minder über die ganze Erdoberfläche verbreiten. Die dritte Hauptbedingung ist, daß der Wellenzug unabhängig von der Frequenz eine bestimmte Zeit andauert, welche nicht geringer als $^1/_{12}$ oder 0,08484 einer Sekunde sein soll, wobei angenommen wird, daß die Bewegung von dem Ausgangspunkte bis zu dem entgegengesetzten Pole der Erdoberfläche und zurück mit einer mittleren Geschwindigkeit von 471200 km in der Sekunde erfolgt.

Fig. 151.

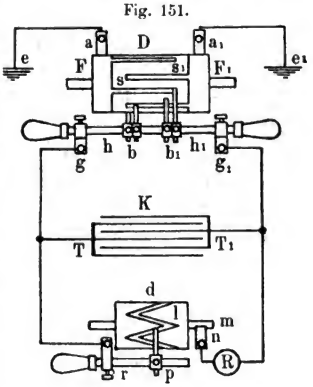


Fig. 151 zeigt die Anordnung für die Anzeige der Gegenwart von Wellen. Sie besteht aus einem Zylinder D von isolierendem Material, welcher durch irgend eine mechanische Antriebsvorrichtung mit stets gleichmäßiger Winkelgeschwindigkeit gedreht wird. Auf diesen Zylinder sind zwei Metallringe F F_1 aufgesetzt, längs welchen zwei mit den Erdplatten e e_1 verbundene Metallbürsten a_1 a schleifen. Von den Ringen F F_1 gehen schmale metallische Segmente s s_1 aus, welche bei Drehung des Zylinders D abwechselnd mit den Doppelbürsten b b_1 in Kontakt treten. Diese Bürsten stehen mit den Bürstenhaltern h h_1 und deren Trägern g g_1 in leitender Verbindung. Letztere stehen mit den Enden T T_1 eines Kondensators K in leitender Verbindung und gestatten ebenso wie ge-

Digitized by Google

wöhnliche Bürstenträger eine gewisse Winkelverschiebung. Der Zweck dieser beiden Bürsten ist, die Dauer der elektrischen Verbindung zwischen den Erdplatten und dem Kondensator K nach Willen und Bedarf entsprechend abändern zu können. Der Kondensator ist mit dem Empfänger R und einer Vorrichtung d verbunden, die den Zweck hat, den Empfangskreis in vorherbestimmten Zwischenzeiten zu schließen und die aufgespeicherte Energie in den eigentlichen Empfänger einzuleiten.

Diese Vorrichtung besteht aus einem teilweise aus leitendem, teilweise aus nichtleitendem Materiale zusammengesetzten Zylinder d, welcher durch geeignete Mittel in eine drehende Bewegung von gewünschter Geschwindigkeit versetzt wird. Der leitende Teil l ist in elektrischer Verbindung mit der Achse m und schleift auf diesem eine Bürste p, welche sich in der Längsrichtung des Bürstenträgers r verschieben läßt. Eine zweite Bürste n schleift auf der Achse m. Sobald irgend eines der Segmente l in Kontakt mit der Bürste p tritt, wird der den Empfänger R enthaltende Stromkreis geschlossen und der Kondensator K über diesen entladen. Durch entsprechende Einstellung der Bürste p und Aenderung der Drehgeschwindigkeit des Zylinders läßt sich das Schließen und Oeffnen dieses Kreises in sehr rascher Reihenfolge bewerkstelligen und auch die Zeitdauer des Stromschlusses und der Unterbrechung des Kreises nach Notwendigkeit regulieren.

Die beiden Erdplatten, durch welche die elektrische Energie den Bürsten a a_1 zugeführt wird, werden entweder in beträchtlichem gegenseitigen Abstand in die Erde eingesenkt, oder es wird nur die eine Platte geerdet und die andere wie bei dem Sender in ziemlicher Höhe in die Luft geführt. Im letzteren Falle muß der Aufstellungsort der Apparate der Lage der stehenden Wellen entsprechend ausgewählt werden. Werden beide Platten mit der Erde verbunden, so müssen die Versenkungspunkte entsprechend der Potentialdifferenz, welche zu erhalten gesucht wird, ermittelt werden. Für den Empfang wird die Drehgeschwindigkeit des Zylinders D so lange geändert, bis sie sich in Synchronismus mit den wechselnden Impulsen des entfernten Generators befindet. Sind die Bürsten richtig eingestellt, so werden dem Kondensator an dessen Enden stets Ladungen gleichen Vorzeichens zugeführt und wird dieser daher mit jedem neuen Impuls auf ein höheres Potential geladen. Auf diese Weise läßt sich die Energie einer Reihe von gesonderten Impulsen aufspeichern, und die so gesammelte Energie durch den Empfänger entladen. Man ist hierdurch in der Lage, einen verhältnismäßig großen Energiebetrag anzusammeln

Digitized by Google

und braucht aus diesem Grunde die Empfindlichkeit des Empfängers nicht sehr groß zu sein. Es ist nun der Sendestation auch möglich, die Region der Wellenknoten und Wellenbäuche nach Willen abzuändern, und läßt sich hierdurch, wenn diese Regionen der maximalen und minimalen Wirkungen mit einer oder mehreren Empfangsstationen in Uebereinstimmung sind, die Empfangsempfindlichkeit außerordentlich erhöhen.

Drückt man der Erde zwei oder mehrere Schwingungen von verschiedener Wellenlänge auf, so entsteht eine resultierende stationäre Welle, welche langsam über die Erdkugel fortwandert. Werden nun die Zonen der Wellenknoten und Wellenbäuche einer solchen Welle in einer bestimmten und gleichbleibenden Lage erhalten, so läßt sich auf einem mit Empfangsapparaten ausgerüsteten Schiffe die Geschwindigkeit, mit welcher es sich fortbewegt, aus der Beobachtung der durchschnittenen Regionen der maximalen und minimalen Wirkung mit Genauigkeit berechnen. Auch läßt sich in irgend einer Region die Wellenlänge auf geometrischem Wege feststellen und ist diese Länge einmal bekannt, so bezeichnet sie auch die Entfernung von der Ausgangsstelle in einfacher Weise. Ebenso kann man die Entfernung zweier Punkte voneinander, die Länge und Breite, die Zeit etc. aus der Beobachtung solcher stationärer Wellen erhalten.

Mit mehreren Generatoren in ausgewählten Standorten, welche verschiedene Wellenlängen erzeugen, läßt sich der ganze Erdball in Zonen von verschiedener elektrischer Wirksamkeit unterteilen und können sodann wichtige Daten durch ähnliche Berechnungen oder Ablesungen von entsprechend graduierten Instrumenten erhalten werden.

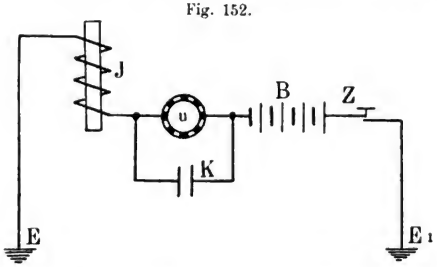
Das System der drahtlosen Telegraphie und Telephonie von Orling-Armstrong[1]). Ueber dieses System wurde bereits in die F. d. T. II, S. 123 berichtet, und dort darauf hingewiesen, daß bei diesem für die Uebertragung der Zeichen Hertzsche Wellen nicht zur Verwendung kommen, sondern wie bei vielen der älteren Einrichtungen die Leitfähigkeit der Erde dazu ausgenützt wird, die Zeichen zu vermitteln. Dieses System hat nun, wiewohl die Grundlagen die gleichen geblieben sind, eine Reihe von Verbesserungen und Neuerungen aufzuweisen, auf die hier näher eingegangen werden soll. Es ist jedoch schwer zu entscheiden, ob die Fortpflanzung der der Erde aufgedrückten elektrischen Impulse einer einfachen Ausbreitung in der Erde zuzuschreiben ist, oder ob diese, wie bei der Teslaschen

[1]) E. W. Bd. 46, S. 1122.

Digitized by Google

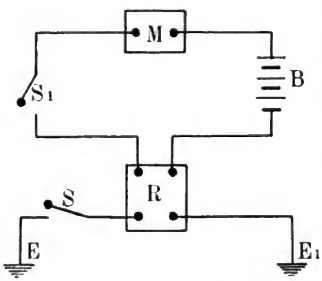
Einrichtung (s. S. 237), nicht auch zu stehenden Wellen Veranlassung geben, die dann auf die Empfangseinrichtung übertragen werden können. Eine solche Entscheidung, die sich doch nur auf Experimente stützen könnte, soll auch hier nicht versucht werden. Jedenfalls sind die Erfinder nicht von dem gleichen Grundgedanken wie Tesla ausgegangen.

Fig. 152.



Der Sender umfaßt (Fig. 152) einen Unterbrecher u, einen Kondensator K, eine Induktionsspule J, eine Batterie B, einen Zeichengeber Z und zwei in die Erde versenkte Platten E E_1 die in der dargestellten Weise miteinander verbunden sind. Der Empfänger (Fig. 153) umfaßt ein Elektrokapillarrelais R, zwei gewöhnliche Schalter SS_1, eine Batterie B, zwei gleichfalls in die Erde versenkte Platten E E_1 und einen Morseschreiber M.

Fig. 153.



Die Induktionsspule J ist eine gewöhnliche Funkenspule, wie solche für Gasanzünder oder Explosionsmotoren verwendet werden. Sie besteht aus mehreren Lagen gut isolierten Drahtes, der um einen weichen Eisenkern gewunden ist und steht einesteils mit dem Unterbrecher u und andernteils mit der Erdplatte E in Verbindung. Der Zweck dieser Spule ist wohl hauptsächlich nur der, die bei Unterbrechung des Stromes auftretenden hohen Spannungen zu verwerten. Es wird behauptet, daß durch diese Spannungen die Uebertragung der Zeichen auf einen entsprechend aus-

Digitized by Google

gestatteten Empfangsapparat wesentlich erleichtert wird. Dabei sind die Erdplatten verhältnismäßig nicht weit voneinander in die Erde versenkt und soll die Entfernung nur wenige Meter betragen. Die Erdung erfolgt durch eiserne Pflöcke, die fest in den Boden eingerammt werden und an welchen die Enden der beiden Leitungsverbindungen befestigt sind.

Im Nebenschlusse zum rotierenden Unterbrecher ist ein Kondensator K geschaltet, dessen Aufgabe es ist, an den beiden Enden dadurch eine größere Spannungsdifferenz hervorzurufen, daß der Kondensator während der Unterbrechung von der Batterie geladen wird, wohingegen er sich bei Kontaktschluß entladet. Die Batterie kann auch durch einen Gleichstromgenerator ersetzt werden, wenn leichte Transportfähigkeit nicht verlangt wird. Der Zeichengeber hat die Form eines gewöhnlichen Morseschlüssels und ist nur, ebenso wie für andere Formen der drahtlosen Telegraphie, stärker gehalten, da auch hier kräftige Ströme unterbrochen werden müssen.

Das Elektrokapillarrelais von Orling und Armstrong nimmt die durch die Erde oder das Wasser stark abgeschwächten Ströme auf und überträgt die erhaltenen Impulse unter Vermittlung einer Ortsbatterie auf einen Morseapparat. Das Relais und der Schreibapparat können auch durch einen Elektrokapillarrekorder ersetzt werden.

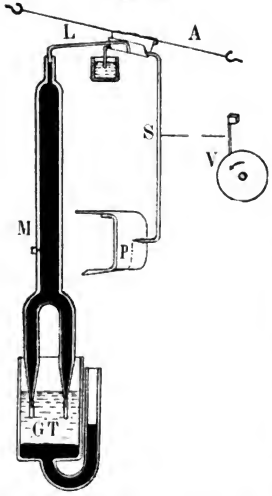
Das Relais selbst besteht aus einem gebogenen Röhrenheber, dessen kürzerer Arm in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß eintaucht. Der längere Arm mündet in ein Gefäß von angesäuertem Wasser. Das Ende dieses Armes ist zu einer so feinen Spitze ausgezogen, daß das Quecksilber nicht durch die kleine Oeffnung austreten kann. Sowie jedoch selbst ein sehr schwacher Strom das Quecksilber über das angesäuerte Wasser durchfließt, folgt das Quecksilber der Stromrichtung und tritt aus dem Rohre in sehr kleinen Tröpfchen aus. Diese fallen auf einen Quecksilbertropfen am Boden des Wassergefäßes, welcher eine beinahe mikroskopisch kleine Oeffnung dieses Gefäßes verschließt. Die Wirkung jedes fallenden Tropfens ist nun die, daß ein korrespondierender Tropfen durch diese Oeffnung hindurchtritt. Diese so die Oeffnung verlassenden Tröpfchen bilden nun einen augenblicklichen Kontakt zwischen zwei metallischen Punkten des Relais und schließen hierdurch den Stromkreis für den Morseschreiber oder einen ähnlichen Registrierapparat.

Der Elektrokapillarrekorder ist einigermaßen abweichend konstruiert, wiewohl bei diesem Instrumente in gleicher Weise Quecksilber und angesäuertes Wasser als Leiter verwendet werden. Diese beiden verschiedenartigen Flüssigkeiten haben weder das Bestreben sich zu

Digitized by Google

vermischen noch chemisch zu verbinden. Der Kontakt dieser beiden findet nun in einem verengten Teile der Röhre statt. Sobald Signale bezw. elektrische Impulse einlangen, wird die Oberflächenspannung einer der beiden Kontaktflächen sofort verändert, wodurch die Flüssigkeiten in der Röhre, je nach der Natur des Impulses, entweder steigen oder fallen. Ein Lichtstrahl ist nun so gerichtet, daß er normal auf ein sich bewegendes lichtempfindliches Band fällt. Sobald ein elektrischer Strom einlangt, wird dieser Lichtstrahl mehr oder weniger durch die Bewegung der undurchsichtigen Flüssigkeit abgeschirmt und findet sonach auf diesem Wege eine fortwährende Aufzeichnung statt. Dieser Kapillarrekorder wurde auch für die unmittelbare Ablesung durch das Auge eingerichtet.

Fig. 154.



Eine andere Form des Kapillarrekorders zur unmittelbaren Niederlegung der Zeichen ist in Fig. 154 dargestellt. Der leichte Hebel L ruht mit dem einen Ende auf einer Quecksilbersäule M und mit dem anderen Ende auf einem umgebogenen Stück Aluminiumblech, welches auf dem Faden A aufgehängt ist. Das Aluminiumblech trägt ein mehrfach gebogenes Haarröhrchen S, dessen oberes Ende in ein Gefäß mit Tinte eintaucht, wogegen das untere Ende dem der Aufnahme dienenden Papierstreifen P gegenüberliegt. Dieses Röhrchen ist durch einen Faden mit einer Feder verbunden, welche längs des gerieften Randes des Rades V schleift und wird dadurch in eine schwingende Bewegung versetzt, deren Zweck es ist, die Tinte am unteren Rande des Röhrchens zum Ausspritzen zu bringen. Mit dem Steigen und Fallen der Quecksilbersäule wird auch das auf ihr ruhende Ende des Hebels L in die gleiche Bewegung versetzt, welche sich wieder auf das Aluminiumblech, jedoch in der Weise überträgt, daß es nicht senkrecht, sondern wagrecht ausweicht und auch dem Haarröhrchen S eine seitliche Bewegung erteilt. Diese letztere Bewegung wird auf dem Papierband in Form einer Wellenlinie aufgezeichnet. Die Säule M

Digitized by Google

taucht mit ihren kapillarförmig ausgezogenen unteren Enden G T in ein Gefäß, welches eine elektrolytische Flüssigkeit enthält, die auf dem am Boden befindlichen Quecksilber ruht, welches auch in die kommunizierende Röhre übersteigt. Der Stromkreis wird über die beiden Quecksilberkörper durch den Elektrolyten geschlossen. Da nun jede zwischen der Quecksilbersäule und dem Elektrolyten auftretende Potentialdifferenz ein Steigen oder Fallen der Säule hervorruft, lassen sich ankommende Telegraphierströme in der bereits angegebenen Weise auf dem Papierband aufzeichnen.

Das Relais und der Rekorder sollen nach den Angaben der Erfinder eine außergewöhnlich große Empfindlichkeit besitzen, weil hier zum Unterschiede vom gewöhnlichen Relais- oder Syphonrekorder keine schweren Massen, wie Armaturen oder Spulen zu bewegen sind, daher keine Trägheit zu überwinden ist. Durch die Ausscheidung eines Elektromagneten wird auch der Widerstand des Instrumentes so gering, daß er praktisch vernachlässigt werden kann. Der einzige bewegliche Teil dieser Instrumente besteht aus nichts anderem, denn einem dünnen Quecksilberfaden, dessen Gewicht gleich Null anzunehmen ist.

Die sichtbare Wirkung des Systemes Orling-Armstrong oder, wie es die Erfinder in wenig glücklicher Abkürzung bezeichnen, das Armorl-System, läßt sich kurz wie folgt zusammenfassen. Sobald durch Niederdrücken des Zeichengebers Z (Fig. 152) der Stromkreis geschlossen wird, gelangt auch der Unterbrecher zur Wirkung und die Signale, seien es Punkte oder Striche, werden durch die Induktionsrolle in eine Reihe von rasch aufeinander folgenden Punkten zerlegt. Der Batteriestrom erregt die Induktionsrolle jedesmal, sobald der Unterbrecher den Stromkreis schließt und induziert einen indirekten Extrastrom, wogegen bei jeder Unterbrechung ein direkter Extrastrom erzeugt wird. Dieser direkte Extrastrom muß sich durch die Leiter in die Erde entladen. Die zur Erde führenden Leiter sind nun an jeder Seite mit dem Unterbrecher verbunden und sind sonach die beiden Erden zu jeder Zeit, während welcher der Stromkreis unterbrochen ist, in Reihe geschaltet. Bei Schluß des Stromkreises wird die Resultante aus dem Niederspannungsstrom der Batterie und dem entgegengesetzt gerichteten indirekten Extrastrom zur Erde geleitet. In dem Sender wird der induzierte Extrastrom von hohem Potentiale gleichzeitig zur Erde geleitet, wenn der Batteriestromkreis durch die Erde geschlossen wird.

Die unsichtbaren Wirkungen, die diese Einrichtung in der Erde

Digitized by Google

hervorruft, sind nach Dr. Moriz Ernst folgende. Durch die beiden Erdverbindungen, welche den Stromkreis schließen, wird die Erde elektrisch geladen und zwar an dem einen Punkte positiv und an dem anderen Punkte negativ. Betrachtet man einen solchen Punkt für sich und vernachlässigt man für einen Augenblick den Einfluß von anderen Ladungen, welche in deren Nachbarschaft vorhanden sein mögen, so zeigt sich, daß der Erde Energie fortlaufend zugeführt wird und diese sich in der Erde wieder nach allen Richtungen hin ausbreitet. Dies findet die Ursache in der wechselseitigen Zurückstoßung jedes geladenen Punktes auf jeden anderen Punkt der gleichen Ladung, weil alle diese Ladungen das gleiche Vorzeichen haben und entweder positiv oder negativ sind. Der Einfluß einer solchen Ladung würde sich über die ganze Erde ausbreiten, doch wird das Potential irgend eines Punktes entsprechend der Entfernung von der Ladestelle sehr gering werden. Zieht man nun in Betracht, daß sich in der Nachbarschaft ein anderer, aber entgegengesetzt geladener Punkt findet, welcher in Abwesenheit des ersten Punktes die aufgenommene Energie in gleicher Weise nach allen Richtungen ausbreitet, so müssen sich unter den vorfindlichen Umständen die beiden Ladungen in ihren Wirkungen gegenseitig übergreifen. Nachdem jedoch diese Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens sind, so werden sie sich wechselseitig anziehen. Die ausstrahlenden Abstoßungslinien jeder Ladung, welche in den Bereich des anziehenden Einflusses der anderen Ladung kommen, werden jedoch infolgedessen abgelenkt und in Kurven umgeformt, über welche der Ausgleich der Energie von einer Ladungsstelle zur anderen stattfindet. Sind nun die beiden Enden des Empfangsinstrumentes mit der Erde an Punkten verschiedenen Potentiales verbunden, welche von den eben beschriebenen Stromlinien durchschnitten sind, so wird ein Teil des Stromes dieses durchfließen. Dies ist selbstredend nur dann möglich, wenn sich dort, wo der Empfänger aufgestellt ist, solche Stromlinien vorfinden und der den Empfänger durchfließende Strom hinreichend stark ist, ihn auch zu betätigen. Die Entfernung, bis auf welche die Stromlinien hinreichend stark sind, hängt sowohl von der Empfindlichkeit des Empfangsinstrumentes als auch von dem Potentiale, auf welches die beiden geerdeten Punkte des Senders geladen werden, ab. Da die Empfindlichkeit des Empfängers eine gegebene Größe ist, muß, um wirklich gute Ergebnisse zu erzielen, ein Strom von beträchtlicher Stärke den Punkten zugeführt werden, von welchen die Stromlinien ausgehen.

Dies ist nun nach den Erfindern mit ihren Einrichtungen da-

Digitized by Google

durch erreicht, daß der Batteriestrom durch die Erde gleichzeitig durch eine Entladung von hohem Potentiale an den Erdverbindungen unterstützt wird. Die durch diese Entladungen entsendeten Stromlinien schaffen anscheinend für den Batteriestrom Wege von geringem Widerstande, und wird sohin eine genügende Menge elektrischer Energie nach dem entfernten Empfänger geleitet, um ihn zu betätigen.

Das in Rede stehende System kann außer der Nachrichtenübertragung noch für eine Reihe anderer Zwecke, wie Abfeuern von Minen aus größerer Entfernung, Lenkung von Torpedos, Verkehr zwischen den Zügen und Stationen, Auslösung von Feuermeldern u. s. w. verwendet werden. Ersetzt man den Zeichengeber durch einen Mikrophonübertrager und das Relais in Verbindung mit dem Morseschreiber durch ein Telephon, so ist es auch möglich, eine drahtlose Telephonie durchzuführen.

H. Drahtlose Telephonie und sonstige Verwertung der Wellenentsendung.

Dr. Hugo Moslers Beiträge zur drahtlosen Telephonie[1]). Die von Nußbaumer gegebene Schaltung zur Uebertragung der Sprache mittels elektromagnetischer Wellen unter Anwendung des singenden Flammenbogens als Unterbrecher (s. d. F. d. T. III, S. 260, Fig. 224) hat den Nachteil, daß der Transformator zur Uebertragung der mikrophonischen Schwingungen in Serie mit der primären Spule des Schwingungstransformators geschaltet ist. Es wird sonach diese Spule von einem Wechselstrome sehr hoher Frequenz durchflossen und eine unnötig hohe Selbstinduktion in diesen Kreis geschaltet, wodurch die Schlagweite in der Funkenstrecke stark herabgedrückt wird. Außerdem treten an den Klemmen des Mikrophontransformators größere Spannungen auf, die eine Ursache zum Verbrennen der Mikrophonkontakte bilden können.

Schaltet man diesen Transformator jedoch, wie dies Fig. 155 zeigt, in die Gleichstromleitung der Bogenlampe, so kommen die erwähnten Uebelstände in Wegfall.

Es wurde nun mit dieser Schaltung die überraschende Tatsache festgestellt, daß man auch dann eine deutliche Sprachübertragung erhält, wenn man die Funkenkugeln so weit auseinander zieht, daß gar kein Funkenübergang stattfindet. Es bietet sich hierbei noch der Vor-

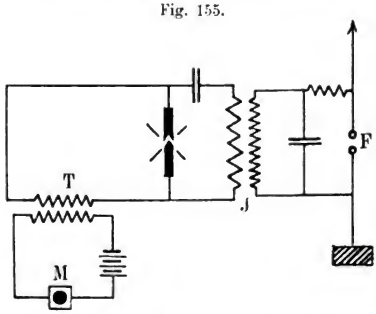
[1]) E. T. Z. 1905, S. 490.

Digitized by Google

teil, daß die störenden, pfeifenden Nebengeräusche der Funkenstrecke beseitigt werden.

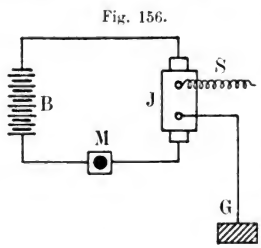
Das Ergebnis dieser Versuche führte nun zu der als günstigst befundenen einfachen Schaltung (Fig. 156), in welcher B eine Batterie

Fig. 155.



von 25 Volt Spannung, M ein Mikrophon und J einen Induktor bezeichnet. Der eine Pol der sekundären Windung ist bei G geerdet, der zweite Pol bleibt unverbunden. An der Empfangsstelle wurde ein gleichfalls einseitig geerdetes Telephon verwendet, dessen zweite Klemme frei blieb. Das Telephon besaß eine Metallkapsel, welche vom Beobachter beim Hören berührt wurde. Die Verwendung eines Luftdrahtes in der Empfangsstelle gab, selbst wenn eine Drahtspule mit aufgewundener, mehrere Kilometer langer Drahtleitung zwischengeschaltet wurde, keine nennenswerte Lautverstärkung. Eine solche trat aber sofort ein, wenn der freie Pol des Telephones mit der Hand berührt wurde.

Fig. 156.



Die Uebertragung wurde noch reiner und deutlicher, wenn in der Sendestelle die freie sekundäre Klemme des Induktors mit einer isoliert aufgehängten Spule S aus Kupferdraht mit einer Drahtlänge von ca. 2,5 km Länge verbunden wurde.

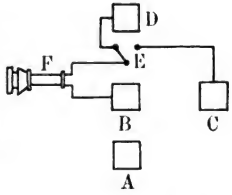
Bei doppelpoliger Erdung des Induktors J schwächte sich die Uebertragung ganz außerordentlich und setzt bei einigermaßen größerer Entfernung ganz aus. Bei doppelpoliger Erdung des Telephons in der

Digitized by Google

Empfangsstelle ließ sich nur unter ganz bestimmten Verhältnissen eine gute Sprachübertragung erreichen.

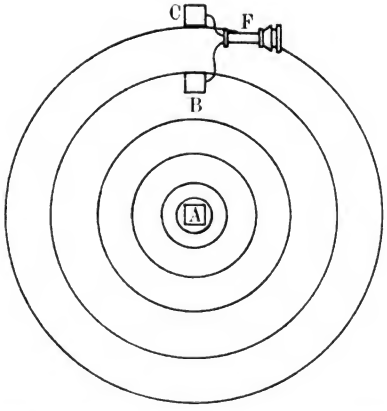
Stellt (Fig. 157) A die Erdplatte des Induktors der Sendestation dar und seien D, B, C Erdplatten in der Empfangsstation, F das zugehörige Telephon und E ein Umschalter zur Verbindung der Erdplatten C oder D mit dem Telephon, so zeigt sich, daß gar keine Sprachübertragung eintritt, sobald die Platten B und C mit dem Telephone in Verbindung sind.

Fig. 157.



Mosler gibt für diese Erscheinung folgende Erklärung. Den Stromschwankungen, welche durch das Sprechen in das Mikrophon hervorgerufen werden, entsprechen analoge Schwankungen erhöhten Potentiales in der Sekundären des Induktors. Diese fließen von der Sekundären bei A in die Erde und es erfolgen der Sprache entsprechende rhythmische Elektri-

Fig. 158.



sierungen der Erde, die sich (Fig. 158) mit einer im Quadrate zur Entfernung abnehmenden Intensität ausbreiten. Eine Sprachübertragung kann daher nur dann erzielt werden, wenn Punkte verschieden hohen Potentiales, d. h. verschiedener Entfernung von A der Senderstation

Digitized by Google

mit dem Empfänger in Verbindung stehen, da nur dann ein entsprechender Strom das Telephon durchfließen kann.

Werden Punkte gleichen Potentiales, also annähernd gleicher Entfernung von A geerdet, so können die Sprechströme das Telephon nicht beeinflussen und findet demnach auch keine Uebertragung statt.

Daß eine Sprachübertragung auch dann stattfand, wenn keine zweite Erdung vorhanden war, erklärt sich dadurch, daß die zweite Erde durch den Beobachter selbst hergestellt wurde, indem beim Berühren der Metallkapseln mit der Hand die Erdströme ihren Weg durch den Körper und die Isolation der äußeren Windungen der Telephonspulen nahmen. Es war jedoch in diesem Falle die Erdplatte zufällig so günstig gelegen, daß ein ausreichender Entfernungsunterschied in radialer Richtung vorhanden war.

Weitere Versuche ergaben, daß Uebertragungsweiten von mehreren Kilometern insbesondere über Wasser nicht ausgeschlossen sind, sobald Induktorien mit sehr großem Uebersetzungsverhältnis und Mikrophone, die größere Stromstärken vertragen (Stentormikrophone) zur Verwendung kommen.

Verfasser erklärt selbst, daß mit diesem die Lösung einer drahtlosen Telephonie auf weite Entfernungen allerdings nicht gefunden ist und dies nur unter Benutzung von Aetherwellen unter Anwendung einer sprechenden, aber von jedem Nebengeräusche befreiten Funkenstrecke zu erreichen sein dürfte.

Diese Beobachtungen stimmen im allgemeinen mit den Beobachtungen von Tesla überein und dürften sich auch hier stehende Wellen im Erdkörper entwickeln, deren Vorhandensein durch das Telephon angezeigt wird. Allerdings muß hier eine Schwächung des Empfanges stattfinden, da für den in Rede stehenden Verwendungsfall sich eine Energieaufspeicherung in der Empfangseinrichtung schwer vorstellen läßt.

Ueber eine Anfrage gibt der Verfasser noch bekannt [1]), daß er für seine Versuche das sog. 1000 km-Mikrophon der Firma Mix & Genest benutzt hat. Diese Mikrophone funktionierten bei 25 Volt Spannung auch durch längere Zeit recht befriedigend, wenn man das Mikrophon nur während des Gegensprechens einschaltete und durch häufigeres Drehen der Kapsel die Körner durcheinander schüttelte.

Ganz vorzüglich sollen sich die „Stentor"-Mikrophone der gleichen Firma bewährt haben, an welchen bei den Versuchen Spannungen von 50—60 Volt unmittelbar an die Kontakte des Mikrophones angelegt

[1]) E. T. Z. 1905, S. 828.

Digitized by Google

wurden, ohne daß sie dauernd Schaden litten. Es geschah dies allerdings nur während des Gegensprechens unter häufiger Erschütterung der Kapsel.

Auf diese Versuche eingehend, teilt W. Knobloch[1]) mit, daß es nach seiner Erfahrung nicht ohne weiteres möglich ist, Mikrophone mit einer Spannung von „25 Volt" zu belasten, da diese Anordnung mehr einer kleinen Bogenlampe, denn einem Mikrophone gleichen würde, daß es ihm aber allerdings nicht auf die übliche Weise gelungen ist, einen Mikrophonstromkreis mit einer noch höheren Spannung zu belasten.

Es liegen zu diesem Zwecke, wie sonst üblich, ein Mikrophon entsprechender Bauart, die Primärwicklung einer Induktionsspule und eine Batterie in Reihe geschaltet. Dagegen ist parallel zu dem Mikrophone ein Widerstand gelegt, der an den Klemmen des Mikrophones nur eine solche Spannung aufkommen läßt, wie sie das Mikrophon maximal vertragen kann. Um diesen Nebenschluß auszunutzen, wird er auf die Induktionsspule als eine zweite primäre Wicklung so gelegt, daß die Stromrichtungen in beiden Primärwicklungen entgegengesetzt sind, sohin auch entgegengesetzt magnetisieren. Es ist hierbei von Vorteil, diese beiden Wicklungen nicht neben- oder übereinander zu legen, sondern den Eisenkern soweit zu verlängern, daß auf jedem Ende eine kleine Spule Platz findet. Beide Endspulen sind in Reihe geschaltet und werden erst nach Fertigstellung der Induktionsspule zu dem Mikrophone so abgestimmt, daß durch das Mikrophon nur der zulässige Strom fließen kann. Abgesehen davon, daß durch die Gegenmagnetisierung eine schädliche magnetische Sättigung des Eisenkernes bei zu hoher Stromstärke nicht eintreten kann, ist die Wirkung von beiden Primärspulen abhängig.

Wird der Widerstand des Mikrophones kleiner, so fließt ein stärkerer Strom durch die Hauptprimärwicklung, der Spannungsabfall an den Mikrophonenden wird dadurch kleiner und erhält somit der Nebenschluß oder die zweite primäre Wicklung eine kleinere Spannung und Stromstärke. Wird die durch die Hauptprimärspule hervorgerufene Magnetisierung größer, die Gegenmagnetisierung durch die Nebenprimärspule kleiner, so ist der Unterschied in der Veränderung der Kraftlinienzahl jenes Maß, welches auf die Induktionserregung Einfluß hat. Es wird also eine größere Veränderung der Kraftlinienzahl hervorgerufen, die wieder eine größere sekundäre Stromveränderung zur Folge hat.

---

[1]) E. T. Z. 1905, S. 828.

Digitized by Google

Die Wicklungen können nun für die jeweilig anzuwendende Spannung eingerichtet sein und dürften hierdurch ganz erhebliche Spannungen, event. gar Starkstromanschluß verwendet werden können.

Branlys Methode zur drahtlosen Uebertragung mechanischer Wirkungen[1]). Durch den von Branly geschaffenen Apparat lassen sich verschiedene mechanische Wirkungen in einer entfernten Station nach Willen und Bedarf hervorrufen, ohne daß eine Unterstützung durch eine daselbst stationierte Person nötig wäre. So lassen sich durch elektromagnetische Wellen Motoren zum Antrieb bringen, Lampen anzünden oder Explosionen hervorrufen. Die Wahl der Reihenfolge dieser verschiedenen Wirkungen in der entfernten Station wird durch einen drehenden Kommutator in der entfernten Station geregelt. Er trägt ebensoviele Scheiben als verschiedene Wirkungen erreicht werden sollen. Für diese Wirkungen ist jede Scheibe mit einem Sektor von größerem Halbmesser und einem Winkel von 90° versehen. Zur Zeit, wo dieser Sektor mit einer Bürste in Kontakt ist, ist der Apparat für die Wirkung von der Uebertragungsstation ausgesendeter Wellen empfänglich und vollzieht die gewünschte Arbeit. Der Bedienende der Uebertragungsstation ist von der Lage der einzelnen Scheiben durch eine dauernde Folge von Zeichen, die von der Empfangsstation ausgehen, unterrichtet. Durch die Einführung einer Umsteuerung können die Wirkungen nach Bedarf hervorgerufen oder aufgehoben werden. Der Kommutator kann auf gleiche Weise durch die elektromagnetischen Wellen zum Angehen oder zum Stillstand gebracht werden. Branly beschreibt auch gleichzeitig eine Methode, durch welche sich der die Uebertragungsstation Bedienende von dem zufriedenstellenden Arbeiten des Apparates der Empfangsstelle überzeugen kann. Auch erfand er gleichzeitig eine Methode, um die empfangende Station gegen zufällige Wellen zu schützen. Nähere Ausführungen sind nicht gebracht.

Ein einfacher Blitzaufzeichner[2]). Dieser von Alciatore beschriebene einfache, wirksame und wenig kostende Blitzaufzeichner (Fig. 159) besteht aus dem Wellenfänger W, welcher sich auf dem Dache des Gebäudes befindet, aus einer in die Zuleitung eingesetzten Schmelzsicherung S, zwei Abzweigklemmen k_1 k_2, dem Fritter F, der Erdverbindung E, einem Relais R, einem Registrierapparat M, einem Klopfer K und zwei Ortsbatterien b_1 b_2. Der Wellenfänger ist ein

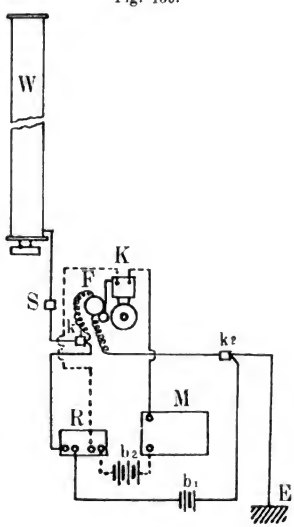
[1]) Comptes rendus 1905, März und Juni.

[2]) Monthly, Weather Review, November 1904. (Monatliche Berichte des Wetterbureau der Vereinigten Staaten von Nordamerika.)

Digitized by Google

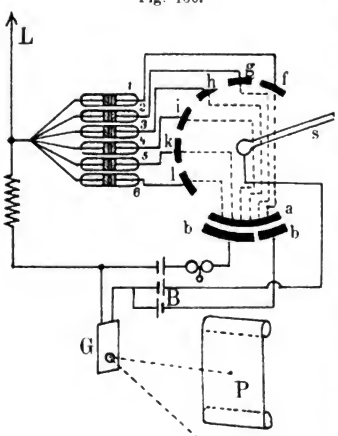
hohler Zylinder von etwa 3 bis 4 m Länge und 27 cm Durchmesser, der aus zwei Blättern käuflichen Zinkes hergestellt ist, die auf drei Holzscheiben je eine an einem Ende und eine in der Mitte festgenagelt sind. Die Enden der Zinkblätter sind gegenseitig verlötet. Die Fritter bestehen aus einem Stück einer dicken Glasröhre von etwa 6 mm Durchmesser und 5 cm Länge, in welche zwei Silberelektroden genau eingepaßt sind. An diese Elektroden ist je ein Stück Kupferdraht angelötet. Zwischen den ungefähr 1,5 mm voneinander abstehenden Elektroden sind einige wenige grobe Silberspäne eingebettet. Der Klopfer besteht aus einem gewöhnlichen Zimmerläutewerk, an dessen Hammer im rechten Winkel zur Achse ein 5 cm langes, starkes Drahtstück angelötet ist, an welches der Fritter mittels isolierenden Bandes befestigt wird. Sowie die Glocke läutet, werden die Späne erschüttert und entfrittet. Das Relais ist ein gewöhnliches Telegraphenrelais von etwa 150 Ohm Widerstand. Die Schmelzsicherung schmilzt bei 2 Ampere durch. Zum Aufzeichnen dient ein starkes Uhrwerk, welches einen hohlen Holzzylinder von 8 cm Durchmesser, der auf einer endlosen Schraube aufgesetzt ist, in drehende Bewegung versetzt. Ein kleiner Hufeisenmagnet, an dessen Armatur eine Schreibfeder aus einem hohlen Messingkonus von etwa 0,7 mm innerem Durchmesser aufgesetzt ist, legt im Falle der Erregung die Feder an einen von dem Zylinder fortgeführten Papierstreifen an, wodurch ein sichtbares Zeichen niedergelegt wird. Der Abstand der Feder vom Streifen beträgt etwa 1 mm. Der Zylinder macht alle Stunde eine Umdrehung und schiebt dementsprechend den in Stunden- und Fünfminutenzwischenräumen geteilten Streifen um eine Stundenbreite fort. Alle 24 Stunden wird ein neuer Streifen eingelegt. Die Kosten der gesamten Einrichtung betrugen ungefähr 120 Mark.

Fig. 159.



Die Gewitterregistriervorrichtung von Turpain[1]). Diese Gewittervorrichtung hat nicht bloß den Zweck, die Zahl der atmosphärischen Entladungen während eines Gewitters festzustellen, sondern auch die Intensität dieser Entladungen annähernd abzuschätzen. Zu diesem Zwecke sind sieben Fritter verschiedener Empfindlichkeit in Parallelschaltung mit einem Luftdrahte L verbunden. Von diesen sieben Frittern dient einer (hier nicht dargestellt) nur zum Schließen eines Lokalkreises, der einen durch ein Gewicht getriebenen, sich drehenden Umschalter zur Auslösung bringt. Die übrigen sechs Fritter (Fig. 160, 1 bis 6) stehen, sobald der Schaltehebel s die beiden Segmente a und b verbindet, mit der Erde in leitender Berührung. Sobald sich dieser Hebel infolge der erfolgten Auslösung von diesen beiden Segmenten abhebt und seine Drehung beginnt, sind die Fritter von der Erde abgeschaltet und werden durch die Berührung des Schaltehebels mit den Kontakten f bis l der Reihenfolge nach in einen Lokalstromkreis geschaltet, welcher außer der Ortsbatterie B noch ein äußerst empfindliches Spiegelgalvanometer G einschließt. Auf das Spiegelchen dieses Galvanometers fällt ein Lichtstrahl, der, von diesem zurückgeworfen, auf eine bewegliche lichtempfindliche Platte P fällt. Die Ablenkung des Galvanometers wird sonach durch diese Platte festgehalten und gestattet die Größe dieser Ablenkung im Vergleiche mit der Empfindlichkeit der Fritter annähernd einen Schluß auf die Stärke der Entladung, bezw. die Entfernung, in welcher diese stattgefunden hat. Die Fritter werden sodann durch einen Klopfer, der nach einem entsprechenden Zeitraume in Tätigkeit tritt, entfrittet. Zum Schlusse wird ein Strom umgekehrter Richtung durch das Galvanometer und die Fritter durchgeleitet, welcher von dem entfritteten Wellenanzeiger

Fig. 160.



[1]) Mitteilungen der französischen physikalischen Gesellschaft 1906.

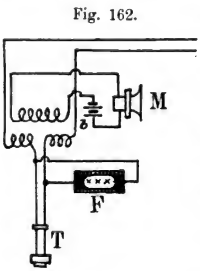
Digitized by Google

nicht durchgelassen wird, um zu erkennen, ob die Entfrittung auch richtig vollzogen wurde. Mittels eines Rekorders von Richard kann auch der Augenblick der Entladungen in der richtigen Reihenfolge aufgezeichnet werden. Die Dauer der Umdrehung des Schalters ist eine sehr kurze und ist während dieser Umdrehung die Verbindung der Fritter mit dem Luftdrahte unterbrochen. Das Uhrwerk bringt sich nach einer Umdrehung des Schalters selbsttätig zur Ruhe und stellt sich so ein, daß es bei neuerlicher Anregung des Fritters wieder ausgelöst werden kann.

Anwendung des Fritters als Schutzvorrichtung in der Telephonie[1]). Ingenieur Hans Karl Steidle hat bereits früher Mitteilung über die Anwendung besonders dimensionierter Fritter zum Schutze des Gehöres vor den akustischen Einwirkungen atmosphärischer Entladungen gebracht. Die mit dieser Spannungssicherung durchgeführten praktischen Versuche hatten ein günstiges Ergebnis, und eigneten sich für kleine Umschaltestationen ganz gut. Die Form dieses Fritters ist aus Fig. 161 zu entnehmen. In dem Glasröhrchen stehen die 5 mm im Durchmesser aufweisenden polierten Stahlzylinder etwa 20 mm voneinander ab und ist der Zwischenraum durch etwa 200 kleine Stahlschräubchen, welche den losen Kontakt darstellen, ausgefüllt. Der Widerstand dieses Fritters beträgt im nichterregten Zustande etwa 10^5 Ohm und wird schon durch Kondensatorentladungen von etwa 20 Volt auf etwa 1—3 Ohm herabgedrückt, sinkt aber bei höheren Spannungen auf einige Zehntel Ohm. Wird ein solcher Fritter, wie dies Fig. 162 zeigt, parallel zum Empfangstelephone geschaltet, so werden die sonst so störend bemerklichen Kondensatorentladungen erträglich und sind bei Spannungen über 30 Volt kaum mehr bemerklich.

Fig. 161.

Fig. 162.



Die Entfrittung wird durch Erschütterung des Fritters von dem Beamten besorgt. Es hat sich jedoch bald gezeigt, daß die selbsttätige Rückstellung des Fritters in den Normalzustand wünschenswert ist. Die mechanische Rückstellung durch Einbeziehung in einen Klopferstromkreis ist jedoch für den vorliegenden

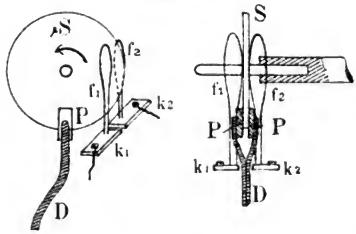
[1]) E. T. Z. 1904, S. 939; 1905, S. 679.

Digitized by Google

Zweck nicht brauchbar, weil erstens durch diesen Stromkreis ein schädlicher Nebenschluß für das Telephon geschaffen wird und zweitens die wesentliche Reduktion des Uebergangswiderstandes im Fritter nicht immer gewährleistet ist, wodurch die Verständigung stark beeinträchtigt werden kann. Wird der Fritter, wie dies von Steidel bereits früher vorgeschlagen wurde, in ununterbrochener Drehung erhalten, so können, da die Erschütterung eine sehr sanfte sein muß, um die Kontaktbrücke im Fritter an keiner Stelle völlig zu unterbrechen, beim Auftreten heftiger atmosphärischer Entladungen die einzelnen Partikelchen im Fritter immerhin so heftig zusammenbacken, daß durch die Drehung ein Entfritten nicht mehr eintritt und sich daher der ursprüngliche Zustand nicht wieder herstellt.

Diese Unsicherheit läßt sich durch Ersatz des in Vibration gehaltenen unvollkommenen Kontaktes durch einen unvollkommenen Schleifkontakt beseitigen. Einen solchen Kontakt zeigt Fig. 163. S ist eine auf die Achse eines kleinen Elektromotors isoliert aufgeschobene Metallscheibe, gegen welche zwei Neusilberfedern f_1 und f_2 mit mäßiger Spannung angedrückt werden. Diese Scheibe ist an der Stelle, an welcher die beiden Federn schleifen, auf Hochglanz poliert. Ein kleines Polster P, welches an dem unteren Teile der Scheibe schleift, steht mittels des Dochtes D mit einem Oelgefäße in Verbindung und sorgt für die dauernde Schmierung der sich drehenden Scheibe. Das gegen die Einwirkung atmosphärischer Entladungen zu schützende Telephon wird zwischen die Klemmen k_1 k_2 geschaltet. Nachdem die Scheibe in Drehung versetzt war, ergaben die Widerstandsmessungen bei den verschiedenen Spannungsunterschieden an den Klemmen k_1 k_2, die in den Diagrammen (Fig. 164) dargestellten Werte. Der Druck, mit welchem jede der Schleiffedern auf die Scheibe preßte, betrug hierbei annähernd 10 g. Die Umdrehungszahl der Scheibe wurde mit 1000 in der Minute bemessen, welche sich als die günstigste erwies. Die Scheibe wurde zur Erreichung der möglichsten Glättung vorher mehrere Stunden, unter Umständen sogar mehrere Tage, in ununterbrochener Bewegung erhalten. Sobald die

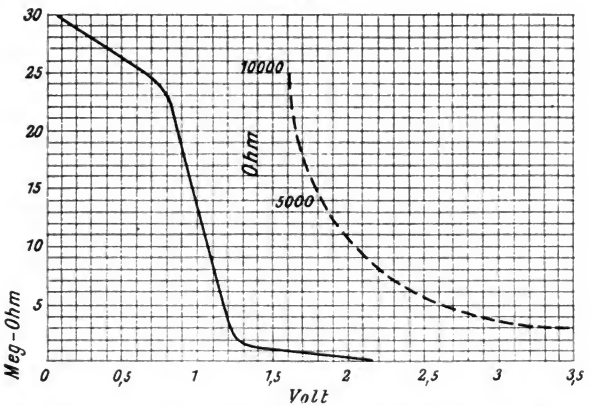
Fig. 163.



Digitized by Google

Scheibe zum Stillstand gebracht wird, sinkt der Uebergangswiderstand auf wenige Ohm, um mit Beginn der Umdrehung sofort wieder den ursprünglichen hohen Wert anzunehmen. Wird ein Telephon zwischen die Klemmen k_1 k_2 geschaltet und läßt man auf die an das Telephon angeschlossene Leitung Kondensatorentladungen einwirken, so verschwinden die sonst für das Ohr fast unerträglichen Schläge beinahe gänzlich. Die Entfrittung tritt nun durch die Drehung der Scheibe fast augenblicklich ein und lassen sich trotz der Kondensatorentladungen

Fig. 164.



telephonische Gespräche ohne merkliche Beeinträchtigung der Verständigung abhören.

Die auffallende Abhängigkeit des Uebergangswiderstandes vom Bewegungszustand der Scheibe zeigt eine neue Eigentümlichkeit unvollkommener Kontakte. Es hängt der Uebergangswiderstand nicht allein von der Druckdifferenz, sondern auch von dem zeitlichen Einflusse ab. Dies läßt sich auch an der ruhenden Scheibe nachweisen, wenn man die von einem Mikrophon abgenommenen und bei parallel geschalteter Spannungssicherung auf das Telephon übertragenen Metronomschläge abhört und deren Abnahme mit der Zahl der Schläge beobachtet. Hierbei ist es jedoch notwendig, die Spannung an den Klemmen der Schleiffedern durch Verwendung geeigneter Nebenschlüsse möglichst niedrig zu halten.

Digitized by Google

J. Erfahrungen im Betriebe.

Bäume als Wellenfänger[1]). In einem Briefe an die Schriftleitung der E.-W. gibt O. Squier mit Bezug auf die Aeußerungen von John M. Blake (siehe die F. d. T. III, S. 267) über die Verwendung von Wellenfängern folgende Erläuterungen:

Die Uebertragungsentfernung in der drahtlosen Telegraphie hängt nicht bloß von der in der Sendestation aufgewendeten Energiemenge und der Empfindlichkeit des Wellenanzeigers, sondern auch von der ausstrahlenden und absorbierenden Wirksamkeit der Luftleiter, als ein Ganzes genommen, ab.

Untersuchungen zeigen nun, daß sowohl die Luft und Erdoberfläche, welche die Basis des Sendegebildes umringt, zum mindesten einer Fläche mit dem Halbmesser von $^1/_4$ der entsendeten Wellenlänge entsprechen soll. Es wurde ferner erwiesen, daß Signale auch ohne wirklichen Kontakt mit dem Empfangsleiter von der Erde in der unmittelbaren Nachbarschaft des Fußes des Empfangsleiters und unter dessen Einfluß aufgenommen werden können.

Durch die Verwendung von Bäumen als Wellenfänger für die drahtlose Telegraphie sind diese, welche früher ein Hindernis bildeten, ein Werkzeug geworden.

Die Notwendigkeit einer guten Erdung für den Empfangsleiter als auch für den Sendeleiter ist bekannt und in dieser Beziehung findet sich wohl kaum eine innigere Verbindung zwischen der Erde und dem mit Luft gefüllten Raume ober der Erde als in der Vegetation, welche von den Bestandteilen beider lebt und wächst.

Das Wurzelsystem eines Baumes ist, wie bekannt, aus mit Säften gefüllten organischen Zellen zusammengesetzt. Diese Säfte enthalten Wasser, Stärke, Zellulose, verschiedene organische Säuren und mineralische Bestandteile. Die großen Wurzeln der Bäume sind mit unzählbaren mikroskopischen Haarwurzeln bedeckt, durch deren Oberfläche die Nahrung des Baumes aufgesaugt wird. Die Säftebewegung findet sonach vom Boden nach aufwärts und umgekehrt statt und hat sich nun gezeigt, daß die organischen Zellen die elektromagnetischen Wellen großer Frequenz gut absorbieren und weiterleiten.

Die begrenzte Höhe der Bäume als Wellenfänger läßt sich nun durch passende Einbeziehung einer Gruppe von Bäumen ausgleichen, so daß die absorbierte Energie der elektromagnetischen Wellen nach Bedarf vervielfacht werden kann.

[1]) E. W. Bd. 45, S. 439, 529, 546, 1120; E. T. Z. 1905, S. 639.

Digitized by Google

Im Interesse des Fortschreitens der Erkenntnis erscheint es wünschenswert, daß sich die Forschung auch diesem interessanten Zweige der drahtlosen Telegraphie zuwenden möge und zwar umsomehr, als die Kosten der Einrichtung in der Nähe von kräftigen Uebertragungsstationen, ebenso wie die aufzuwendenden Mühen sehr geringe sind und gegenwärtig kein Feld dem Forscher sowohl in praktischer als auch wissenschaftlicher Beziehung mehr Erfolg zu versprechen scheint, als das in Rede stehende.

Dr. Georg Seibt schreibt in Bezug auf die diesfalls bekannt gegebenen Versuche von John M. Blake (F. d. T. III, S. 267), daß diesen wohl kaum irgend ein technischer Wert beigemessen werden kann. Nach der Angabe von Blake wird ein Draht über die Baumkrone gelegt und sind die Drahtenden mit den Empfangsapparaten für drahtlose Telegraphie verbunden. Es sind daher die Bedingungen im Wesen von drahtlosen Einrichtungen mit einem künstlichen Maste nicht wesentlich verschieden und läßt sich daher mit Bestimmtheit erwarten, daß, wenn die Gesamteinrichtung entsprechend ausgerüstet ist, Signale von Stationen innerhalb deren Wirkungsbereiches erhalten werden können. Die Versuche von Blake enthalten demnach kaum etwas von Wichtigkeit für einen Sachkundigen, denn in diesem Falle sind die Bäume nichts anderes, denn ein Ersatz für die künstlichen Maste. Dessenungeachtet erscheint es für gewisse Fälle angezeigt, Bäume in dieser Weise nutzbar zu machen.

Die Beobachtungen von Major G. O. Squier, welcher zuerst Bäume erfolgreich als Empfangsgebilde verwendete, sind vom wissenschaftlichen Standpunkte von großem Interesse. War auch die Fähigkeit der Bäume, Energie zu absorbieren, schon lange bekannt, so setzt es doch in Erstaunen, daß sie so groß ist, um einen Wellenanzeiger zum Ansprechen zu bringen. Er ist jedoch in Bezug auf den technischen Wert dieser Beobachtung der Ansicht, daß Bäume für drahtlose Telegraphie auf weite Entfernungen kaum je ein künstliches Luftgebilde zu ersetzen vermögen. Hingegen haben die Beobachtungen des Majors O. Squier unleugbares wissenschaftliches Interesse.

Für die Brauchbarkeit der Bäume als Wellenfänger für kürzere Entfernungen bis zu 160 km sprechen jedoch folgende Erfahrungen, Versuche und Berichte. So konnten durch Verbindung einer Empfangseinrichtung mit einem Eukalyptusbaum in Fort Mason Nachrichten von dem Mare Island, Navy Yard sowie in einem anderen Falle von dem Hospitalschiffe Solace, welches sich dem Hafen von San Franzisko näherte, rein aufgenommen werden. Es gelangte hier-

Digitized by Google

bei als Wellenanzeiger der de Forestsche Responder zur Anwendung.

Die Fortsetzung der Versuche von O. Squier waren ebenfalls vom besten Erfolge begleitet, indem Nachrichten von San Franzisko in den 48 km entfernten Beniciabaracken mit den einfachsten Apparaten, welche ein Soldat leicht tragen kann, sehr deutlich anlangten, trotzdem daß die als Wellenfänger verfügbaren Bäume nur sehr klein sind. Die Leichtigkeit, mit welcher eine solche Station errichtet werden kann, ergibt sich aus folgendem Auszuge eines Berichtes von Kapitän Saltzmann des Signalkorps in Benicia: „Sobald die Sendung hinreichend stark war, befahl ich plötzlich, die Station an einen Baum in etwa 300 m Entfernung anzulegen. In drei Minuten war die Station fertiggestellt und las ich die Signale klar ab. Es wurde bloß ein Baum benutzt, der durch einen Baum unmittelbar in der Front und durch eine etwa 300 m abseits gelegene Gruppe von Bäumen geschirmt war".

Die Versuche von Major Squier scheinen anzuzeigen, daß die Verbreitung kurz zusammengefaßter Nachrichten, Kursangaben, Schiffs-, Renn- und sonstigen Sportneuigkeiten u. s. f. nunmehr von einer Zentralstation an eine beliebige Anzahl von anderen Stationen innerhalb eines Umkreises von ungefähr 150 km mit Leichtigkeit übertragen werden kann. Es würde dies einen zeitweisen oder dauernden Dienst nach nahe einer größeren Stadt gelegenen Landhäusern ermöglichen, da eine der Hauptauslagen, nämlich die Errichtung eines Mastes, beseitigt ist.

K. E. F. Schmidt berichtet ferner über die Ergebnisse von bereits vor zwölf Jahren durchgeführten Versuchen und Beobachtungen, die über die Wirkung von Bäumen als Wellenfänger einiges Licht zu verbreiten geeignet sind.

Die Blitzspur an getroffenen Eichen ist außer durch den Sprengstreifen, wo die Rinde von dem Holzkörper gelöst und fortgeschleudert ist, besonders durch eine oder mehrere Rillen gekennzeichnet, welche von den getroffenen Aesten zunächst nach unten verlaufen. Diese Rillen folgen der Windung des Stammes, wenn dieser, was sehr häufig vorkommt, tordiert ist. Diese Beobachtung legte nun Schmidt die Vermutung nahe, daß bestimmte geometrisch eng begrenzte Teile des Jungholzes die Nährstoffe von den Wurzeln zu den ihnen zugehörigen Teilen der Krone leiten.

Mikroskopisch lassen sich Unterschiede in den benachbarten Zellen gleichartiger Teile eines Querschnittes nicht nachweisen, dagegen ist es Professor Kraus gelungen, an frisch antreibenden Ahornbäumen

Digitized by Google

von 5—6 m Höhe eine Bestätigung der vorgehend ausgesprochenen Ansicht zu finden.

Zu diesem Zweck wurde der Wurzelstock teilweise bloßgelegt und eine oder mehrere Wurzeln in ein Gefäß mit indigschwefelsaurer Natronlösung eingetaucht. Nach ein bis zwei Tagen wurde die Rinde entfernt und es zeigte sich eine der Zahl der eingetauchten Wurzeln entsprechende Zahl von blauen Streifen am Stamme, die jeder für sich getrennt in einer Breite von 1—2 cm aus der Wurzel zu einem bestimmten Aste aufstiegen. An der Buche und Erle wurden von Schmidt die gleichen Beobachtungen gemacht.

Aus diesen Versuchen und den Beobachtungen über die Blitzspuren läßt sich nun folgender Schluß ziehen: Bestimmten Astteilen entsprechen bei vielen Baumarten bestimmte Wurzeln, aus denen sie ihre Nahrung auf linearem Wege zugeführt erhalten. Diese Leitungen setzen dem elektrischen Strome einen kleineren Widerstand entgegen als benachbarte Teile des Stammes.

Bei der Benutzung eines Baumes als Wellenfänger für die drahtlose Telegraphie müßte man dementsprechend darauf achten, den Metallstift, an welchen der Hörempfänger angeschlossen werden soll, möglichst in solche Stellen des Baumes einzutreiben, welche auf dem oben bezeichneten Leitwege zwischen einer kräftigen Wurzel und dem zugehörigen Aste der Krone liegen, um die günstigste Wirkung zu erzielen. Da sich diese Teile des Baumes sehr häufig durch wulstartige Verstärkungen kennzeichnen, welche von einer Wurzel längs des Baumes emporsteigen, sind sie auch nicht allzuschwer aufzufinden. Uebrigens dürften Beobachtungen des Widerstandes verschiedener Teile am Stamme eines Baumes (Telephonmethode) eine weitere Klärung der Frage bringen, wobei jedoch darauf zu achten wäre, die Messungen zu verschiedenen Zeiten im Jahre zu wiederholen, da der Saftumlauf je nach der Jahreszeit sehr veränderlich ist.

Funkentelegraphie in Südwestafrika[1]). Die ursprünglich von den deutschen Truppen in Südwestafrika zu Beginn des Hereroaufstandes verwendeten Heliographen erwiesen sich zwar zur Abwicklung des Nachrichtendienstes bei klarem Wetter als ganz entsprechend, doch war Bedingung für ein gutes Wirken, daß die Stationen den ungefähren Standort der Gegenstationen kannten, was deren Beweglichkeit sehr beeinträchtigte. Aus diesem Grunde wurden später von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie gelieferte bewegliche

[1]) Militärwochenblatt 1905, S. 2115.

Digitized by Google

funkentelegraphische Stationen für diesen Dienst herangezogen. Die Aufstellung besorgte das Luftschifferbataillon. Zunächst gelangten drei Stationen und zwar zwei Wagen- und eine Karrenstation zur Verwendung, die an Bedienungsmannschaft 4 Offiziere, 4 Unteroffiziere und 27 Mann erforderten. Die Luftdrähte wurden mittels Gasballons hochgezogen und hochgehalten. Bei dem Vorgehen gegen die Hereros am Waterberg gelangten diese Stationen das erste Mal zur Verwendung. Jede der drei verwendeten Truppenabteilungen erhielt eine Station zugewiesen. Es gelang nun trotzdem, obwohl die Aufstellung sehr rasch erfolgen mußte und die Mannschaft teilweise zu wenig geübt war, die gegenseitige Verbindung dauernd aufrecht zu erhalten, was sich insbesondere für den Schlußangriff von besonderem Werte erwies, da jede andere Art des Verkehres zwischen den im Busche kämpfenden Truppen unmöglich gewesen wäre. Die Aufnahme erfolgte anfänglich bis zu Entfernungen von 100 km mittels Schreibtelegraphen, auf weitere Entfernungen hin jedoch mittels Fernhörer. Es wurde im Ganzen nur bis etwa 150 km gesprochen. Späterhin beschränkte man sich auf die alleinige Aufnahme mittels Fernhörers. Die 200 m langen Luftdrähte konnten nicht immer ganz hochgebracht werden, weil der Ballonauftrieb bei der bedeutenden Höhe des Landes über dem Meeresspiegel zu gering war, und wurde hierdurch die Reichweite der Stationen herabgedrückt. Die herrschende Trockenheit und das häufige Auftreten luftelektrischer Vorgänge, sowie der Eintritt von Stürmen und Wirbelwinden, die öfter ein Losreißen oder Abstürzen der Ballons mit sich brachten, wirkten auf den Betrieb ungünstig und teilweise hindernd ein. Auch litten die verwendeten Trockenelemente unter den starken Schwankungen der Luftwärme. Die Ballons bildeten ferner Zielpunkte für die feindlichen Geschosse und litten darunter mehrfach Schaden. Die Kenntlichmachung der Standorte der deutschen Truppen durch die Ballons erwies sich von geringem Nachteil, da die Hereros durch Kundschafter ohnehin vorzüglich unterrichtet waren, dagegen leisteten sie den eigenen Truppen als Marschrichtungspunkte gute Dienste. Die Beförderung der Einrichtungen durch den Busch bereitete bedeutende Schwierigkeiten.

Später gelangten noch drei weitere Stationen in den Dienst, doch litt der Dienst anfänglich sehr unter der Ungeübtheit der bedienenden Mannschaft.

Die Wagen zeigten sich in Bezug auf die Fahrbarkeit den älteren Karren überlegen, da letztere wegen ihrer kleinen Spurweite und verhältnismäßig hohen Bauart leicht umkippten, und auf diese keine Mann-

Digitized by Google

schaften aufsitzen konnten. Der Transport der Karren durch Wasser war unmöglich, wogegen die Wagen anstandslos das Wasser durchfuhren. Hingegen bewährten sich die Karren bei einem Marsche durch hohe Dünen gut, während hier die Wagen versagten.

Im Laufe des Sommers 1905 wurde eine dauernde Verbindung zwischen Aminuis und Keetmanshoop auf eine Entfernung von 450 km mit Hilfe von vier Stationen und eine ebenfalls dauernde Verbindung zwischen Hasur und Keetmanshoop auf 180 km hergestellt.

Nach diesen Erfahrungen stellt sich die Funkentelegraphie als ein durchaus kriegsbrauchbares und leistungsfähiges Mittel für den Nachrichtenaustausch dar, das selbst unter den ungünstigen Verhältnissen, unter welchen es in Gebrauch genommen wurde, die wertvollsten Dienste leistete.

K. Schlußbemerkung.

Ueberblickt man die Fülle des auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie in jüngster Zeit Geschaffenen, so ergibt sich, daß grundsätzlich Neues nur wenig zu verzeichnen ist. Es kann dies wohl nicht wunder nehmen, da ja die allgemeinen Grundlagen für die weitere Ausgestaltung durch Theorie und Praxis bereits gegeben sind und nunmehr nur schrittweise auf Grund der durch den immer weiter sich ausdehnenden Betrieb gewonnenen Erfahrungen die Verbesserung der Einzelteile in Angriff genommen wird. Die auf diese Weise neu auftauchenden Systeme lehnen sich an das alte und erprobte durchaus an und suchen nur in besonderer Ausbildung einzelner Teile der Gesamteinrichtung ein verläßlicheres Wirken zu ermöglichen und manche noch bestehenden Unsicherheiten und Unbequemlichkeiten auszuschalten.

Von grundsätzlicher Wichtigkeit sind nur die Ergebnisse der Bemühungen von Artom und Braun, die Wellen in eine bestimmte Richtung zu lenken und führen nach den vorliegenden Angaben beide der vorgezeichneten Wege zum erwünschten Ziele. Während bei der von Artom angegebenen Methode bereits Ergebnisse des praktischen Betriebes vorliegen, die die Richtigkeit der Voraussetzungen im großen und ganzen bestätigen, ist Braun über die grundsätzlichen Vorversuche noch nicht hinausgekommen und müssen, obwohl kein Zweifel über die Durchführungsmöglichkeit besteht, erst die dem praktischen Dienste Rechnung tragenden Einrichtungen geschaffen werden, was, da ja diese Angelegenheit in die bewährten Hände der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie gelegt werden dürfte, in kürzester Frist zu erwarten ist.

Digitized by Google

Hierdurch wäre eine der wichtigsten noch ausstehenden Fragen der drahtlosen Telegraphie ihrer Lösung zugeführt. Der zweiten Frage, d. i. der ununterbrochenen Entsendung ungedämpfter Wellenzüge wird immer näher gerückt und scheint man mit dem Lichtbogenunterbrecher von Ruhmer der Lösung schon sehr nahe gekommen zu sein. Bisher bildet die Funkenstrecke und als solche ist auch der Lichtbogenunterbrecher zu betrachten, die einzige Quelle zur Erzeugung oszillatorischer Ströme. Die Funkenstrecke hat aber eine Reihe von Nachteilen, zu welchen nicht nur die Unverläßlichkeit der Wirkung, sondern auch der durch die Dämpfung in der Funkenstrecke bedingte Energieverlust zu rechnen sind, und wäre daher deren Ersatz bezw. die Schaffung einer anderen Methode zur Erzeugung der Schwingungsenergie anzustreben. Anläufe sind hierzu schon vorhanden und will Fessenden bereits einen Generator hergestellt haben, der durch die außerordentlich große Zahl seiner Wechsel unmittelbar Schwingungsströme liefert. Er glaubt dadurch auch die Möglichkeit einer drahtlosen Telephonie auf weite Entfernungen erreichen zu können, während dermalen diese Art der Nachrichtenübertragung und zwar nur infolge der Notwendigkeit, sich der Funkenstrecke bedienen zu müssen, noch in den ersten Anfangsstadien liegt und Fortschritte auf diesem Gebiete seit dem letzten Berichte nicht zu verzeichnen sind.

Erwähnenswert wäre noch die neue Methode von Tesla zur Energieübertragung auf weite Entfernungen durch die Erde. Bewahrheiten sich dessen Voraussetzungen und Schlüsse, die er auf Grund jahrelanger Beobachtungen zieht, so findet sich ein ausgedehntes Gebiet für die Anwendung der drahtlosen Telegraphie bei gänzlich geänderten Grundlagen.

Die Verwertung der drahtlosen Telegraphie steigert sich infolge der Erkenntnis von deren hohem Wert für die Zwecke der Schiffahrt und der Küstenverteidigung in sehr erfreulichem Umfange und dürfte die Zeit, wo alle wichtigen Küstenpunkte und alle dem Ueberseeverkehr dienenden Schiffe von nur einigermaßen größeren Dimensionen mit drahtlosen Einrichtungen ausgerüstet sind, nicht mehr in allzugroßer Ferne liegen. Von den vielen bekannt gewordenen Fällen, in welchen die Uebermittlung drahtloser Nachrichten vor Gefahren warnte bezw. Rettung brachte, seien hier nur kurz deren zwei hervorgehoben.

So wurde der Dampfer Kaiser Wilhelm II. bei einer seiner Reisen durch den Dampfer Teutonia drahtlos benachrichtigt, daß ungefähr 90 km entfernt neun Eisberge in direktem Kurse des Kaiser schwimmen und daß nach Mitteilung der Coronia von der

Digitized by Google

Cunard-Linie noch weitere vierzig Eisberge sich in der gleichen Richtung bewegen. Durch diese Warnung vorbereitet, verzögerte der Kaiser seine Geschwindigkeit und war schon am nächsten Tage in der Lage, die Richtigkeit der Nachricht zu ersehen und sich zu sichern. Der zweite Fall bezieht sich auf die Rettung der Bemannung des Nautucket-South-Shoal-Leuchtschiffes No. 58, welches am 10. Dezember 1905 durch einen heftigen Sturm leck wurde und zu versinken drohte. Durch drahtlose Mitteilung wurde die drahtlose Station in Newport von dem Ereignisse verständigt und es gelang, durch von Boston aus entsendete Hilfe Rettung zu bringen. Unmittelbar nach erfolgter Rettung der Besatzung versank das Leuchtschiff in den Fluten.

Diese zwei Fälle sprechen für den praktischen Wert und den Nutzen der drahtlosen Telegraphie im Schiffahrtsdienste viel deutlicher, als die Aufzählung aller möglichen Vorteile. Daß diese Art des Nachrichtenverkehrs auch über Land vielen Nutzen zu bringen vermag und sich namentlich für militärische Zwecke als unentbehrliches Hilfsmittel erweisen wird, bedarf wohl kaum einer weiteren Begründung. Die bereits angeführte Verwendung der drahtlosen Telegraphie anläßlich des Hereroaufstandes in Deutsch-Südwestafrika bezeugt wohl deren Wert für gedachte Zwecke am deutlichsten, umsomehr als sie sich trotz der im allgemeinen äußerst ungünstigen Verhältnisse bestens bewährte.

Wenn nun auch eine Verdrängung der Telegraphie über Drähte dadurch in keiner Weise in Aussicht steht, indem die Wellentelegraphie dieses bestbewährte Verständigungsmittel in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Uebertragung dermalen wenigstens noch nicht erreicht, so wird sie sich doch auch hier überall dort, wo das Verlegen von Leitungen Schwierigkeiten bereitet, Bahn zu brechen wissen. Als Reserve und Ergänzung der bestehenden Anlagen dürfte sie heute schon eine große Bedeutung besitzen, da sie gerade in jenen Fällen, wo die Leitungen durch Elementarereignisse leicht der Störung unterliegen und hierdurch den Verkehr lahm legen, sich unbeeinflußt erweist und daher die Verbindung mit der Außenwelt, wenn auch in beschränktem Maße, aufrecht erhalten werden kann.

Wäre beispielsweise San Franzisko zur Zeit der Erdbebenkatastrophe mit drahtlosen Einrichtungen für Ueberlandverbindungen ausgerüstet gewesen, so hätten die Nachrichten und damit auch die Hilfsaktionen sicher nicht jene Verzögerung erlitten, welche von den Tagesblättern gemeldet wurde.

Digitized by Google

Die Anwendung der Wellentelegraphie kann jedoch nur in diesem Sinne für den Ueberlandverkehr empfohlen werden, denn für den regelrechten Dienst ist die Wellentelegraphie trotz der geringeren Anlagekosten im Betriebe noch zu teuer, weil die Bedienungs- und Erhaltungsauslagen bedeutend größer sind, die Leistungsfähigkeit dagegen wesentlich geringer ist. Wie Preece ausgeführt, kann ein Telegraphensystem, welches nur einen billionsten Teil der erzeugten Energie nutzbar macht, nicht ökonomisch arbeiten, trotzdem es für gewisse Zwecke, namentlich militärische, bei welchen die Kosten keine Rolle spielen dürfen, von unschätzbarem Werte ist.

Im weiteren Verlaufe der Entwicklung wird und muß es jedoch gelingen, teilweise durch die Lenkung der Wellen in eine bestimmte Richtung, teilweise durch die Entsendung ununterbrochener ungedämpfter Wellenzüge und damit verbundener Erzielung einer vollkommenen Resonanz und schließlich durch Verwendung noch empfindlicherer Wellenanzeiger, als der heute bekannten, nicht nur den für eine bestimmte Reichweite aufzuwendenden Energiebetrag wesentlich herabzudrücken, sondern auch die Telegraphiergeschwindigkeit bedeutend zu erhöhen.

Ist dies gelungen, so bietet auch die Ueberwindung größerer Entfernungen keine Schwierigkeiten mehr und kann dann auch die Telegraphie über den Ozean, welche die Marconigesellschaft schon so oft angekündigt, aber niemals mit Erfolg zur Durchführung gebracht hat, zur Tatsache werden. Die Telephonie ohne Draht wird dann auch keine Schwierigkeiten mehr bieten und eröffnet sich sonach der Wellentelegraphie und Wellentelephonie ein weites Anwendungsgebiet, das jedoch der Zukunft vorbehalten ist.

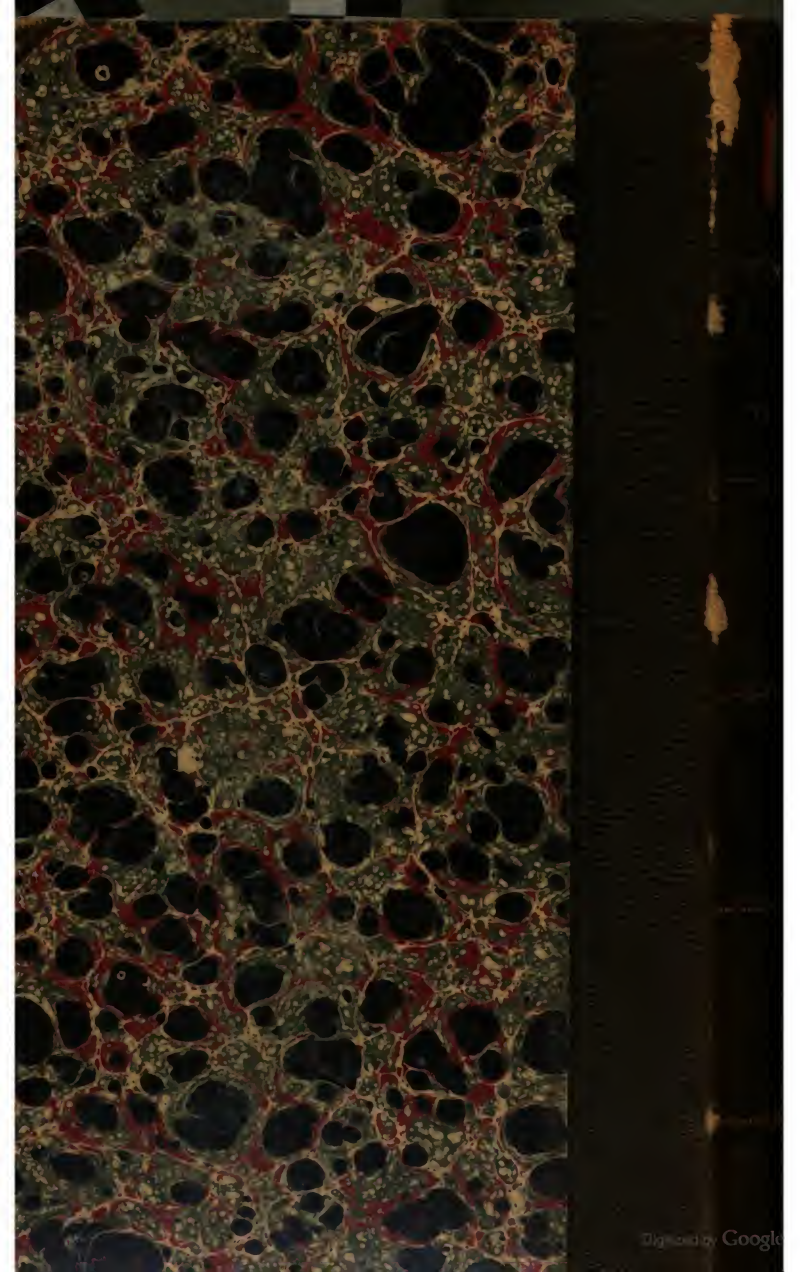
Vorläufig wird es jedoch gut sein, die Anwendung der Wellentelegraphie auf deren ureigenes Gebiet, nämlich den Verkehr zur See und für militärische Zwecke zu beschränken und alle anderen Anwendungen tunlichst auszuscheiden.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google